

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри МАХНВ  
\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко

(підпис)  
“ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ**  
**освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»**

**з спеціальності:** 133 Галузеве машинобудування

**освітня програма (спеціалізація):** Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв

**на тему: Розроблення центрифуги та барабанної сушарки для  
модернізації установки виробництва морської солі**

**Виконав студент 6-го курсу, групи ЛН-81мп**

Ткачук Максим Володимирович \_\_\_\_\_

**Керівник проекту** канд. техн. наук, доцент. А. Р. Степанюк \_\_\_\_\_

**Консультанти:**

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях \_\_\_\_\_

канд. техн. наук, доц. І.М. Ковтун \_\_\_\_\_

(підпис)

розробка стартап-проекту \_\_\_\_\_

доц., канд. економ. наук Н.В. Юдіна \_\_\_\_\_

(підпис)

технологія виготовлення деталі “Упорний ролик” \_\_\_\_\_

ст. викл., канд. техн. наук Я.Г. Двойнос \_\_\_\_\_

(підпис)

автоматичний контроль і керування процесом \_\_\_\_\_

доц., канд. техн. наук, А.Ю. Сазонов \_\_\_\_\_

(підпис)

**Рецензент** \_\_\_\_\_

(посада, вчене звання, науковий степінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_ М.В. Ткачук

Київ – 2019

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“ КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних  
виробництв**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ**

**освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»**

**з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування**

**освітня програма (спеціалізація): Обладнання хімічних, нафтопереробних  
та целюлозно-паперових виробництв**

**на тему: Розроблення центрифуги та барабанної сушарки для  
модернізації установки виробництва морської солі**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**Освітній ступінь – магістр**

**спеціальність: 133 Галузеве машинобудування**

**освітня програма (спеціалізація): Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Ткачуку Максиму Володимировичу**

**1. Тема магістерської дисертації:** «Розроблення центрифуги та барабанної сушарки для модернізації установки виробництва морської солі»

Керівник магістерської дисертації Степанюк А.Р. кандидат технічних наук, доцент, затверджена наказом по університету від 01 листопада 2019 р.

№ 3807–С

**2. Термін подання студентом магістерської дисертації:** 01 грудня 2019 р.

**3. Вихідні дані до дисертації:** центрифуга зневоднення морської солі, продуктивність за суспензією 0,15 кг/с, початкова вологість матеріалу 85 %, кінцева вологість матеріалу 20%, середній розмір частинок  $2 \cdot 10^{-3}$  м; барабанна сушарка продуктивністю по кінцевому продукту 1700 кг/год, початкова вологість матеріалу 20 %, кінцева вологість матеріалу 8%, температура морської солі на вході в барабан 30 °С, густина сировини 2150 кг/м<sup>3</sup>.

#### **4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:**

- а) основна частина: розглянути існуючі конструкції барабанних сушарок та центрифуг, схему виробництва морської солі, обґрунтувати вибір конструкцій апаратів; проаналізувати обрані конструкції в порівнянні з кращими вітчизняними та світовими аналогами; здійснити розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій: параметричний, конструктивний та гідравлічний, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкції апаратів; виконати складальні креслення барабанної сушарки, центрифуги, розвантажувальної камери, барабана та опорної станції.
- б) виконати техніко-економічні розрахунки які доказують доцільність проведення робіт з модернізації барабанної сушарки;
- в) охорона праці: провести аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які пов'язані з експлуатацією барабанної сушарки, запропонувати заходи щодо обмеження їх дії, виконати відповідні розрахунки, викласти основні правила безпечної експлуатації установки та дій обслуговуючого персоналу у надзвичайних ситуаціях;
- г) частина автоматичного керування: скласти та обґрунтувати схему автоматизованого керування барабанної сушарки та центрифуги; скласти специфікацію приладів, що комплектують схему;
- д) технологія машинобудування: розробити маршрутні карти виготовлення упорного ролика, виконати розрахунки режимів різання, розробити пристрій для свердління.

**5. Перелік графічного матеріалу:** технологічна схема виробництва морської солі – А1, схема автоматичного керування – А1, кондуктор для свердління отворів – А1, складальні креслення: центрифуга – А1, барабанна сушарка – А1, розвантажувальна камера – А1, барабан – А1, опорна станція – А2, упорний ролик – А3, технічної ідеї патенту – А3, ілюстрація до розділу охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях – А3.

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Ковтун І.М.		
Розробка стартап-проекту	Юдіна Н.В.		
Технологія виготовлення упорного ролика	Двойнос Я.Г.		
Автоматичний контроль і керування процесом	Сазонов А.Ю.		

## 7. Дата видачі завдання 1 вересня 2019 р.

## РЕФЕРАТ

УДК 665.047.57

Магістерська дисертація за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки на тему ” Розроблення центрифуги та барабанної сушарки для модернізації установки виробництва морської солі ” НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Керівник Степанюк А.Р. – К., 2019. – 198 с.: іл. 34. Виконавець Ткачук М.В. – Бібліогр.: 111 п.

Магістерська дисертація складається зі вступу, восьми розділів, висновків, переліку посилань із 34 найменувань і 11 додатків. Загальний обсяг роботи становить 198 с. основного тексту, 34 рисунків, 29 таблиць.

Метою роботи є модернізація установки виробництва морської солі. Проект містить опис процесу виробництва морської солі, конструкції центрифуги, барабанної сушарки, опис, призначення та області застосування обладнання, технічні характеристики, опис і обґрунтування вибраних конструкцій, розрахунки, що підтверджують працездатність і надійність конструкцій, рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апаратів, а також рівень стандартизації та уніфікації, розробку стартап-проекту.

Результати роботи можуть бути використані з навчальною метою на кафедрі машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв.

МОРСЬКА СІЛЬ, ДОПОМІЖНА ТРУБА, БАРАБАННА СУШАРКА,  
ЦЕНТРИФУГА.

## РЕФЕРАТ

УДК 665.047.57

Магистерская диссертация по образовательно-профессиональной программе магистерской подготовки на тему ” Разработка центрифуги и барабанной сушилки для модернизации установки производства морской соли ” НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского»; Руководитель Степанюк А.Р. – К., 2019. – 198 с.: ил. 34. Исполнитель Ткачук М.В. – Библиогр.: 111 п.

Магистерская диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, списка ссылок из 34 наименований и 11 приложений. Общий объем работы составляет 198 с. основного текста, 34 рисунков, 29 таблиц.

Целью работы является модернизация установки производства морской соли. Проект содержит описание процесса производства морской соли, конструкции центрифуги, барабанной сушилки, описание, назначение и области применения оборудования, технические характеристики, описание и обоснование выбранных конструкций, расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкций, рекомендации по монтажу и эксплуатации аппаратов, а также уровень стандартизации и унификации, разработку стартап-проекта.

Результаты работы могут быть использованы в учебных целях на кафедре машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств.

МОРСКАЯ СОЛЬ, ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТРУБА, БАРАБАННАЯ СУШИЛКА, ЦЕНТРИФУГА.

## ABSTRACT

UDC 665.047.57

The Master's thesis on the theme " Development of centrifuge and drum dryer for modernization of sea salt production plant " National Technical University "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"; Scientific advisor A.R. Stepanyuk – K., 2019. – 198 p.: il. – 34. Developer M.V. Tkachuk – References: 111.

The Master's thesis consists of an introduction, eight sections, conclusions, a list of references (34 sources) and 11 appendixes. The total volume is 198 pages of the main text, 34 figures, 29 tables.

The aim of the work is to modernize the installation of sea salt production. The project contains a description of the production of sea salt, the design of a centrifuge, a drum dryer, a description, purpose and application of equipment, technical specifications, a description and justification of the selected structures, calculations confirming the operability and reliability of the structures, recommendations for the installation and operation of the apparatus, as well as the standardization level and unification, development of a startup project.

The results of the work can be used with the educational purpose at the department of machinery and apparatus of chemical and petroleum processing industries.

SEA SALT, ADDITIONAL PIPE, DRUM DRYER, CENTRIFUGA.



## Зміст

Перелік умовних позначень та термінів .....	12
Вступ.....	13
1 Призначення та область використання лінії виробництва морської солі .....	14
1.1 Опис технологічного процесу.....	14
1.2 Вибір типів апаратів, їх місце в технологічній схемі .....	15
2 Технічна характеристика апаратів.....	17
3 Опис та обґрунтування обраних конструкцій .....	18
3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей.....	18
3.2 Вибір матеріалів .....	20
3.3 Порівняння основних показників обраних конструкцій апаратів з аналогами .....	23
3.4 Патентне дослідження .....	25
4. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів.....	34
4.1 Розрахунок центрифуги.....	34
4.2 Розрахунок барабанної сушарки.....	41
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	68
6 Рекомендації з монтажу і експлуатації лінії.....	79
7 Рівень стандартизації та уніфікації .....	83
8 Розроблення стартап-проекту .....	84
8.1 Опис ідеї проекту.....	84
8.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	86

					<i>ЛН81мп.066613.001 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Ткачук				Розроблення центрифуги та барабанної сушарки для модернізації установки виробництва морської солі	Літ.	Лист	Листів
Перев.	Степанюк						10	198
Реценз.						КПІ імені Ігоря Сікорського, ІХФ, МАХНВ		
Н. Контр.								
Затв.								

8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	87
8.4 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту .....	99
8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	102
8.6 Висновки до розділу .....	106
Висновки .....	108
Выводы .....	109
Conclusions .....	110
Перелік посилань.....	111
Додаток А Технологія виготовлення упорного ролика барабанної сушарки .....	115
Додаток Б Схема автоматизації виробництва морської солі .....	11526
Додаток В Програма параметричного розрахунку центрифуги.....	11536
Додаток Г Програма розрахунку ротора центрифуги .....	11539
Додаток Д Програма параметричного розрахунку барабанної сушарки .....	11542
Додаток Е Програма корпусу барабана .....	11557
Додаток Є Програма розрахунку бандажа, опорних та упорних роликів барабанної сушарки .....	11564
Додаток Ж Програма розрахунку двигуна барабанної сушарки.....	11569
Додаток З Документація патентного дослідження .....	11573
Додаток И Патенти, які використані в патентному дослідженні.....	11584
Додаток І Список наукових праць.....	11598

## Перелік умовних позначень та термінів

### Умовні позначення:

$h$  – висота, м;

$D, d$  – діаметри, м;

$S$  – товщина, м;

$f$  – площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>;

$G$  – продуктивність, кг/с;

$V$  – об'ємна, м<sup>3</sup>/с;

$w$  – швидкість, м<sup>2</sup>/с;

$P$  – тиск, Па;

$T$  – температура, К;

$t_1$  – температура повітря на вході в сушарку, °C ;

$t_2$  – температура повітря на вході в сушарку, °C ;

$T_1$  – температура солі на вході в барабан, °C ;

$T_2$  – температура солі на виході в барабан, °C ;

$B$  – барометричний тиск в даній місцевості, мм.рт.ст.;

$\beta$  – коефіцієнт заповнення барабана, %;

$x_1$  – початкова масова концентрація твердих частинок, %;

$x_2$  – кінцева масова концентрація твердих частинок, %;

$\rho$  – густина матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;

$n$  – частота обертання ротору, с<sup>-1</sup>;

$\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м<sup>2</sup>/с;

### Критерії:

$Nu$  – критерій Нуссельта;

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$Pr$  – критерій Прандтля.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

## Вступ

Морська сіль останнім часом набуває помітної актуальності, на тлі постійного збільшення потреб солей. Розробка технологічних схем та методів отримання морської солі ведеться промислово розвинутими країнами світу.

Метою данної магістерської дисертації є модернізація установки отримання морської солі для потреб фармацевтичних виробництв та споживачів. З цією метою передбачено виконання необхідних розрахунків апаратів, центрифуги в якій відводиться частина вологи та барабанної сушарки в якій після центрифугування висушується кінцевий матеріал.

Робота включає аналіз технологічного процесу з описом та обґрунтуванням обраних конструкцій апаратів та їх місце в технологічній схемі, технічні характеристики основних апаратів установки, опис та обґрунтування обраних конструкцій апаратів та їх місце в технологічній схемі, конструкції і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей, порівняння основних показників обраних конструкцій з аналогами, вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів, патентний огляд конструкцій основного обладнання установки, проведення розрахунків, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів, охорону праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, рекомендації щодо їх монтажу та експлуатації, рівень стандартизації та уніфікації, визначення очікуваних техніко-економічних показників застосування установки, розробку та описання технологічного процесу виготовлення деталі (заглушка) та схеми автоматичного керування технологічним процесом установки.

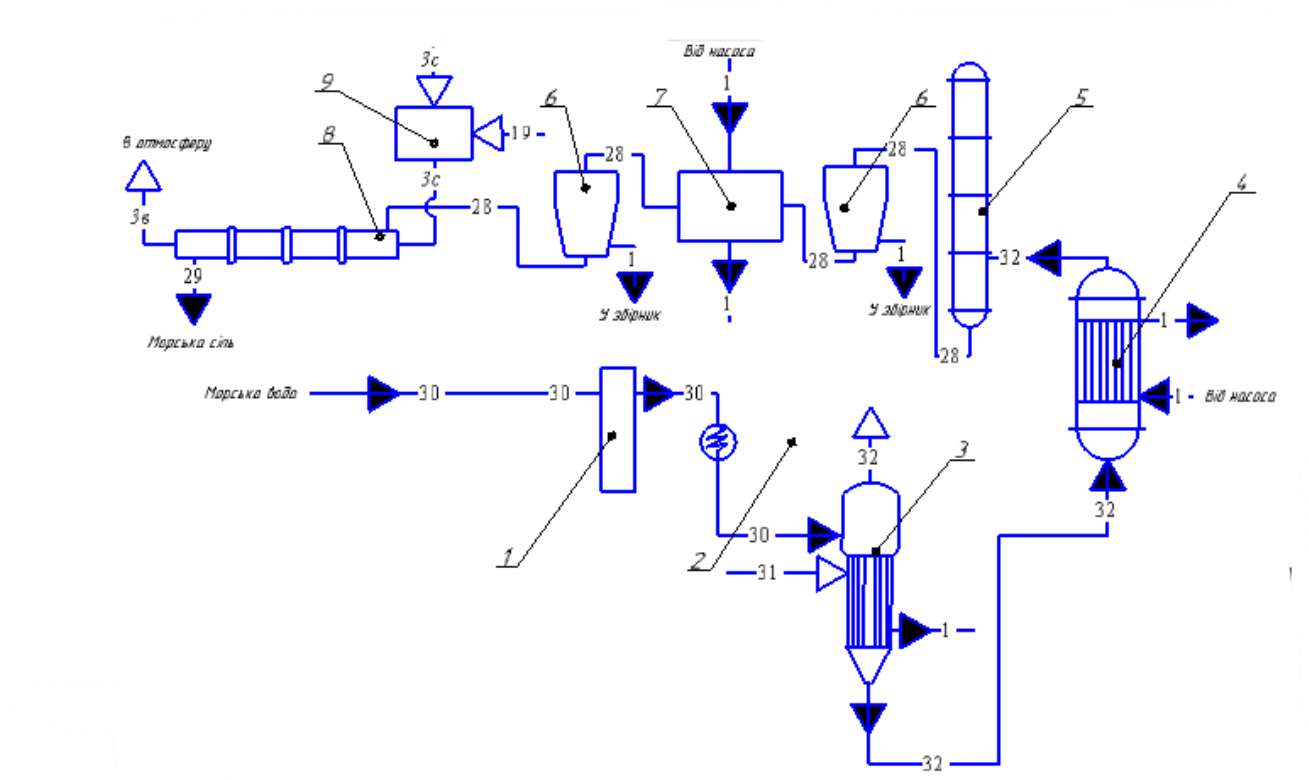
Завдання на магістерську дисертацію одержано вересні 2019 року під час проходження переддипломної практики в Інститут газу НАН України.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

# 1 Призначення та область використання лінії виробництва морської солі

## 1.1 Опис технологічного процесу

Технологічна схема процесу добування морської солі зображена на рисунку 1.1[1].



1 – фільтр І; 2 – підігрівач; 3 – випарний апарат; 4 – теплообмінник;  
5 – кристалізатор; 6 – центрифуга; 7 – водяний промивач; 8 – барабанна сушарка; 9 – калорифер.

Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу отримання морської солі

В фільтр 1 подається морська вода, яка після підігрівання в підігрівачу 2 подається у випарний апарат 3, в якому за допомогою водяної пари, утворюється упарений розчин. Після випаровування суспензія потрапляє у теплообмінник 4 й кристалізується в кристалізаторі 5. Закінчивши кристалізуватись суміш потрапляє у центрифугу 6, в якій видаляється деяка кількість вологи. Після центрифугування

суспензія промивається водою у промивачі 7 та повторно центрифугується у центрфузі 6, потім подається у барабанну сушарку 8, гаряче повітря для якої гріється у калорифері 9, після висушування в барабанній сушарці отримується кінцевий продукт – морська сіль.

Основними апаратами в процесі зневоднення та сушки є барабанна сушарка та центрифуга.

## **1.2 Вибір типів апаратів, їх місце в технологічній схемі**

### **Центрифуга**

В процесі отримання морської солі потрібно відділити кристали солі від рапи, для цього можна використовувати інші осаджувальні пристрої, але це низькоефективний процес. Тому використовують фільтруючу центрифугу, яка високоефективна[2].

Переваги фільтруючої центрифуги:

- простота конструкції;
- висока продуктивність;
- висока ступінь видалення вологи;
- низька енергозатратність.

Недоліки фільтруючої центрифуги:

- складність обслуговування.

### **Барабанна сушарка**

По технології виробництва необхідно висушити морську сіль, для цього можемо використовувати сонце, але це є неефективно та процес затрачує багато часу, тому використовуємо різноманітні сушарки, в нашому випадку використовуємо барабанну сушарку.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Переваги барабанної сушарки:

- висока потужність випаровування вологи;
- висока продуктивність з стабільною кінцевою вологістю;
- невибагливий догляд;
- низька енергозатратність.

Недоліки барабанної сушарки:

- шумність апарату.

Після барабанної сушарки маємо кінцевий матеріал, а саме морську сіль.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

## 2 Технічна характеристика апаратів

### Технічна характеристика центрифуги

Центрифуга призначена для видалення вологи з кристалів солі.

Продуктивність за суспензією, кг/с	0,47;
Мінімальний розмір твердих частинок, м	$2 \cdot 10^{-6}$ ;
Діаметр ротора, м	0,5;
Довжина циліндричної частини ротора, м	0,8;
Частота обертання ротору, $\text{с}^{-1}$	3250;
Радіус зливу, м	0,2.

### Технічна характеристика барабанної сушарки

Барабана сушарка призначена для сушіння морської солі.

Тип апарата – барабанний.

Продуктивність сушарки по кінцевому продукту, кг/год	1700.
Початкова вологість матеріалу, %	20.
Кінцева вологість матеріалу, %	8.
Температура повітря на вході в сушарку, °C	280.
Температура повітря на виході з сушарки, °C	110.
Температура солі на вході в барабан, °C	30.
Температура солі на виході з барабана, °C	95.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



### 3 Опис та обґрунтування обраних конструкцій

#### 3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей

##### Центрифуга

Схема барабанної сушарки представлена на рисунку 3.1

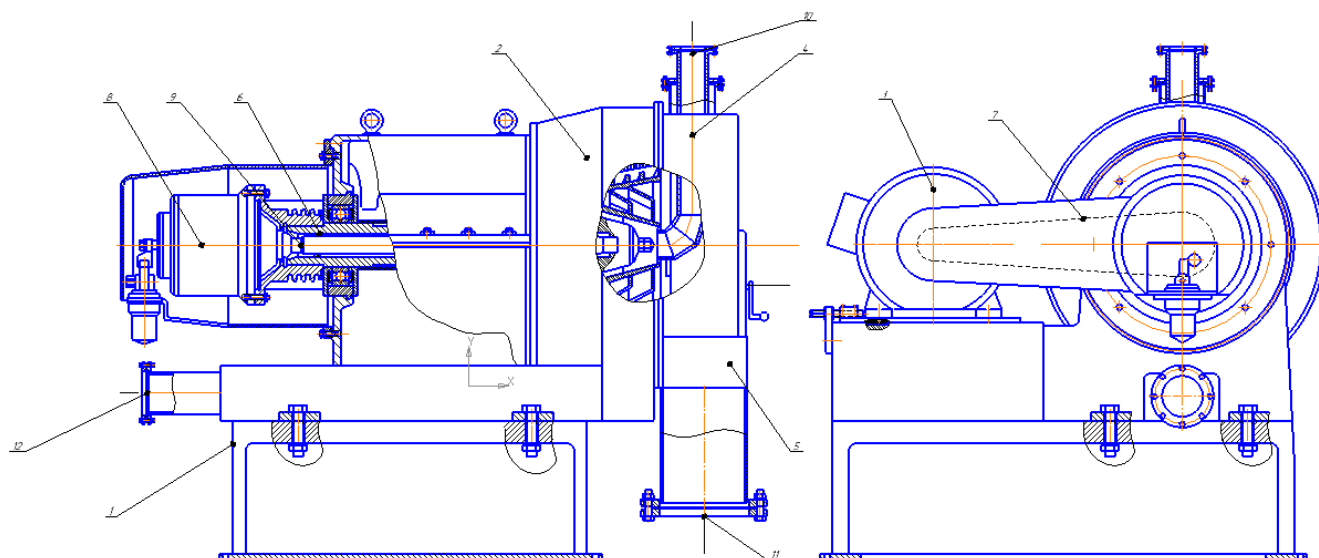


Рисунок 3.1 – Схема центрифуги

Фільтруюча центрифуга зі шнековим вивантаженням, що показана рисунку 3.1 складається з опори 1 на яку кріпиться корпус 2 та двигун 3. До корпусу приєднується завантажувальна 4 та вивантажувальна 5 камера. Ротор центрифуги 6 приводиться в рух за допомогою двигуна 3 по привідних ременях 7. Швидкість шнеку зменшується за допомогою редуктора 8, який приєднано шліцевим з'єднанням 9 до нього. Суспензія подається через штуцер 10 та центрифугується, після цього фугат виводиться через штуцер 12, а осад, що є кінцевим матеріалом виводиться через штуцер 11.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

## Барабанна сушарка

Схема барабанної сушарки представлена на рисунку 3.2

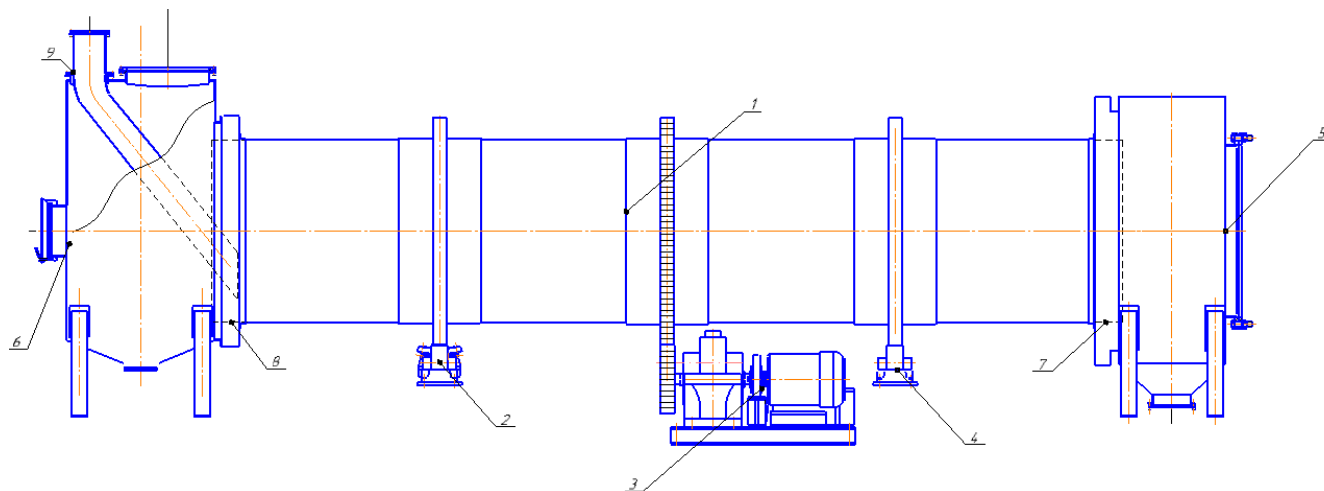


Рисунок 3.2 – Схема барабанної сушарки

Барабанна сушарка, яка показана на рисунку 3.2, складається з корпусу 1, який нахилено до горизонту під кутом  $1,5^{\circ}$  та приводиться до руху за допомогою привідної станції 3, яка включає в себе двигун та редуктор. Для передачі навантаження барабану та його складових передбачено бандажі, які опирають на опорну 4 та упорно-опорну станції. Для завантаження та вивантаження матеріалу встановлені камери 5, 6 з обох боків корпусу, також через ці камери подається та відводиться сушильний агент. Камери з'єднуються з корпусом через лабиринтні ущільнення 7, 8. Матеріал, що потрібно висушити, подається через трубу 9 та потрапляє у завантажувальну камеру, протитечею подається сушильний агент через вивантажувальну камеру. Кінцевий продукт, а саме морська сіль вивантажується з камери 5.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

## 3.2 Вибір матеріалів

### 3.2.1 Центрифуга

Деталі центрифуги, які контактують з оброблюваним продуктом, виготовлені зі сталі 12Х18Н10Т, зважаючи на неагресивність, нетоксичність, пожежовибухонебезпечність середовища в апараті.

Характеристика, хімічний склад і механічні властивості наведено у таблицях 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 – Характеристика сталі 12Х18Н10Т [3].

Марка:	12Х18Н10Т
Замінник:	08Х18Г8Н2Т, 10Х14Г14Н4Т, 12Х17Г9АН4, 08Х22Н6Т, 08Х17Т, 15Х25Т, 12Х18Н9Т
Класифікація:	Сталь корозійно-стійка звичайна
Застосування:	деталі, що працюють до 600 °С. Зварені апарати й посудини, що працюють у розведених розчинах азотних, оцтових, фосфорної кислот, розчинах лугів і солей і інші деталі, що працюють під тиском при температурі від —196 до +600 °С, а при наявності агресивних середовищ до +350 °С.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад в % сталі 12Х18Н10Т [3].

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	-
До 0.12	до 0.8	до 2	9-11	до 0.02	До 0.035	17-19	до 0.3	(5 C-0.8) Ti, інше Fe.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				20

### 3.2.2 Барабанна сушарка

У хімічно-технічній промисловості умови роботи апаратів пов'язані з широким діапазоном тисків та температур. Основні вимоги, які повинні задовільняти вимоги хімічного апарату, є:

- довершена конструкція ;
- простота у виготовленні;
- міцність конструкції;
- витривалість;
- зручність монтажу та експлуатації.

Тому конструкційні матеріали мають забезпечувати:

- високу корозійну стійкість в агресивних середовищах процесу;
- високу механічну міцність при заданих робочих умовах (температура, тиск);
- значну міцність зварювання;
- низьку собівартість і доступність матеріалів.

Крім вищезазначеного, також при виборі конструкційних матеріалів потрібно враховувати фізичні властивості матеріалів (температуропровідність, лінійне розширення, температурне розширення та ін) [3].

Матеріали основних деталей барабанної сушарки наведені у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 - Матеріали основних деталей барабанної сушарки

Деталь	Матеріал
Корпус і насадка	Ст3 [ГОСТ 380-2005]
Бандажі	Сталь 45Л [ГОСТ 1050-88]
Ролики опорні, упорні.	Сталь 45 [ГОСТ 1050-88]
Зубчастий вінець	СЧ21–40 [ГОСТ 1412-85]

Корпус барабана сушарки виготовлено зі сталі Ст3 [4]. Характеристики данної сталі найкраще задовольняють вимогам роботи сушарки, тому сталь має

найбільше застосування при виготовленні корпусів та насадок барабанної сушарки. За хімічним складом й механічними властивостями сталі марки Ст3 відповідають вимогам [4].

Бандажі барабана виконані зі Сталі 45Л [4]. Сталь 45Л являє собою зносостійку вуглецеву конструкційну сталь, яка найкраще підходить для виготовлення днищ, трубних пучків, бандажів та інших елементів апаратів, що працюють при  $T = (-20 \text{ до } 475 \text{ }^{\circ}\text{C})$  та при  $P$  до 10МПа в неагресивних та агресивних середовищах [5]. Сталеві виливки використовуються у термообробленому стані з наступною перевіркою механічних властивостей сталі після обробки. Вміст сірки та фосфору в матеріалі не перевищує 0,05 %.

Опорні та упорні ролики виготовлені зі сталі 45 згідно з [3]. Сталь 45 використовується для виготовлення деталей підвищеної міцності такі як: ролики, осі, втулки, які працюють при  $T = (-20 \text{ до } 475 \text{ }^{\circ}\text{C})$  та при  $P$  до 10МПа в неагресивних та малоагресивних середовищах.

Зубчастий вінець виконано з чавуну СЧ21–40 згідно [4].

Чавуни – сплав заліза з вмістом вуглецю більше 2 %. Мала вартість чавунів та їх високі механічні властивості забезпечують широке використання їх в хімічній та будівельній промисловості. Чавуни мають задовільні ливарні властивості. Вони доволі широко застосовуються для виготовлення вузлів складних конфігурацій такі як: маховики, шестерні, зубчасті колеса, та інших вузлів, які працюють в неагресивних середовищах. Чавуни мають використання при  $T = (-15 \text{ до } 250 \text{ }^{\circ}\text{C})$  та при  $P$  до 1МПа.

У хімічній та будівельній промисловості використовують не тільки чорні метали і сплави (сталі, чавуни), але й також кольорові метали і сплави, неметалічні матеріали.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

### 3.3 Порівняння основних показників обраних конструкцій апаратів з аналогами

#### Центрифуга

Мета: порівняння конструкцій вже існуючих центрифуг з розроблюваним апаратом.

В данній магістерській дисертації запропонована центрифуга фільтруючого типу зі шнековою вигрузкою осаду, яка відрізняється від наведених аналогів [5].

Порівнювання наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Порівняльна характеристика центрифуг.

Основні технологічні показники	ФГН-90	ОГН-90	Центрифуга, що проектується
Внутрішній діаметр ротора, мм	900 (3)	900 (4)	200-400 (5)
Довжина, мм	200 (3)	400 (4)	400 (4)
Оберти, об/хв	2390 (5)	1700 (4)	1900 (4)
Фактор розділення	1650 (5)	1550 (4)	1450 (4)
Об'єм, м <sup>3</sup>	0,04 (2)	0,125 (4)	0,1 (4)
Площа поверхні фільтрації, м <sup>2</sup>	0,61 (4)	1,06 (3)	1,39 (5)
Продуктивність, кг/с	0,24(2)	0,32(3)	0,47(4)
Потужність електродвигуна, кВт	22 (1)	30 (1)	7,5 (4)
Сумма балів	28	27	34

Висновок: виходячи з табличних даних, маємо результат, що найкраще використовувати запропонований тип центрифуги.

## Барабанна сушарка

Мета: порівняння конструкцій вже існуючих барабанних сушарок з розроблюваним апаратом.

У магістерській дисертації розробляється конструкція барабанної сушарки для сушіння морської солі.

Проектована конструкція являє собою горизонтальний сушильний барабан, що приводиться в рух за допомогою привідної станції, завантажувальну, розвантажувальну камери, опорну та опорно-упорну станції. При цьому сушильний барабан має допоміжну трубу, що подає додатковий сушильний агент в середину барабана. Матеріал, котрий висушується, подається у завантажувальну камеру та потрапляє у барабан на насадку, та поступово висушується, пересувається до розвантажувальної камери й при цьому протитечею продувається сушильним агентом. Між обертовим барабаном та нерухомими камерами встановлено лабиринтне ущільнення.

Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами, які описані в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Порівняння основних показників конструкції з аналогами

Технічна характеристика	Барабанна сушарка з допоміжною трубою	Однокамерна сушарка	Стрічкова сушарка
Продуктивність сушарки, кг/с	0.009(4)	0.006(3)	0.007(3)
Вологість матеріалу, %			
Початкова	20(1)	23(3)	34(2)
Кінцева	8(3)	7(2)	6(2)
Температура теплоносія на вході в сушарку, К	280(4)	420(3)	446(3)

Продовження табл. 3.5

Розміри, м	D=1(3) L=6(3)	D=1.5(1) L=2.67(2)	Короб 3.1x2.5x6.2(2 )
(Сума балів)	(18)	(13)	(12)

Висновок: Враховуючи максимальний бал порівняння в таблиці, то доцільно використовувати барабанну сушарку з допоміжною трубою подачі сушильного агенту.

### 3.4 Патентне дослідження

Для перевірки патентної чистоти конструкцій було проведено патентний пошук. Для докладного аналізу обрано патенти [6-10] для центрифуги, та [11-15] для барабанної сушарки.

### Центрифуга

1. Центрифуга [6], зображена на рисунку 3.3.

Роторна центрифуга безперервного типу, являє собою конусоподібний циліндр для видалення вологи з матеріалу.

Переваги:

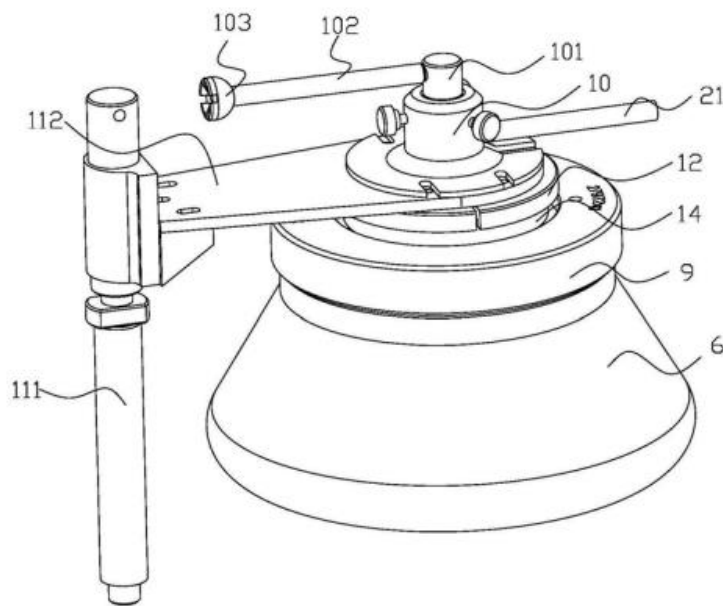
- простота конструкції;
- безперервна дія;

Недоліки:

- низька продуктивність;
- не енергоекономічний.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25



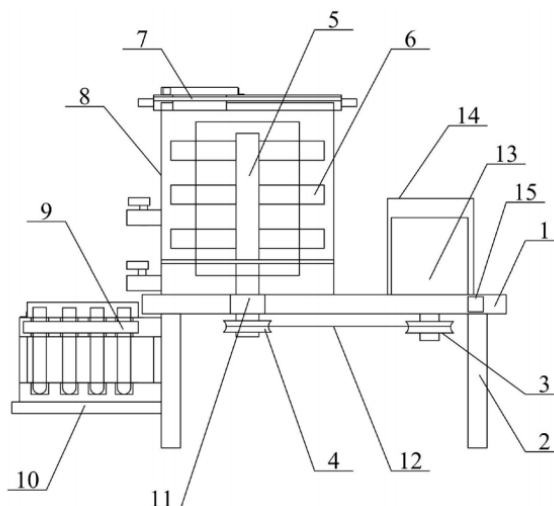


6 – корпус; 9 – бандаж; 10 – контактні елементи; 12 – механізм кріплення;  
14 – ущільнення; 21 – ричаг; 101 – циліндр; 102 – патрубок; 103 – ручка; 111 –  
труба; 112 – станина.

Рисунок 3.3 – Конструкція центрифуги

## 2. Центрифуга [7], зображена на рисунку 3.4.

Центрифуга має двигун, що по клиновому ременю обертає барабан з насадкою, що в полі відцентрових сил відділяє вологу.



1 – плита; 2 – опора; 3, 4 – контактні елементи; 5 – вісь; 6 – насадка; 7 –  
завантажувач; 8 – корпус; 9 – сортувальна стойка; 10 – гніздо;

11 – ущільнювальне кільце; 12 – клиновий ремінь; 13 – двигун; 14 – захисна кришка; 15 – перемикач.

Рисунок 3.4 – Конструкція центрифуги

Переваги:

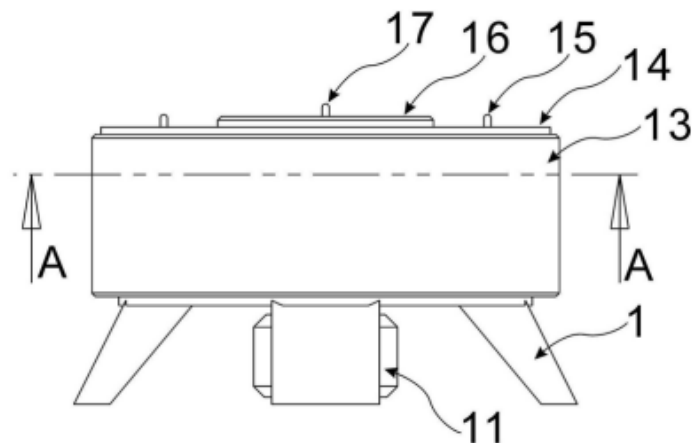
- великий ККД;
- безшумність та вібростійкість;

Недоліки:

- енергозатратна.

3. Центрифуга [8], зображена на рисунку 3.5.

Центрифуга має прямий привід, з нижнім розташуванням двигуна, обертається навколо вертикальної осі.



1 – опора; 11 – двигун; 13, 14 – кришка; 15, 17 – ручка; 16 – зовнішня кришка.

Рисунок 3.5 – Конструкція центрифуги

Переваги:

- велика ефективність центрифуги;
- малі габарити;

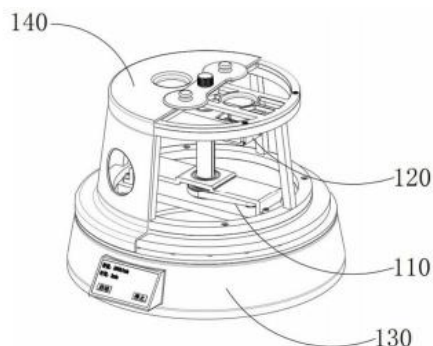
Недоліки:

- складність обслуговування;

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

#### 4. Центрифуга [9], зображена на рисунку 3.6.

Центрифуга оснащена насадкою на яку подають матеріал, що потрібно звільнити від вологи відцентровою силою.



110 – насадка; 120 – двигун; 130 – корпус; 140– кришка.

Рисунок 3.6 – Конструкція центрифуги

Переваги:

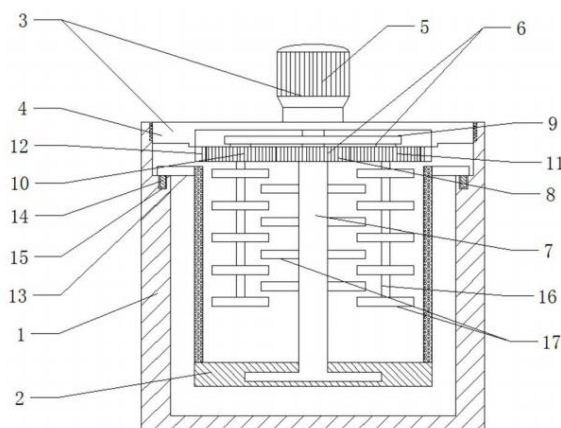
- зменшений період завантаження і вивантаження апарату;
- простота конструкції;

Недоліки:

- складність електроніки.

#### 5. Центрифуга [10], зображена на рисунку 3.7.

Центрифуга має декілька швидкостей, за допомогою яких вона досягає високих швидкостей, а також є мішалка на дні, яка не дає застоюватись матеріалу.



1 – корпус; 2 – відцентрова чаша; 3, 4 – кришка; 5 – двигун; 6 – планетарний змішувач; 7 – головний вал; 8, 10 – привідна передача; 9 – плита; 11 – секундна

привідна передача; 12 – кільцева передача; 13 – обертаюча пдстина; 14 – обертовий блок; 15 – обертовий паз; 16 – мішальний стержень; 17 – обертовий стержень.

Рисунок 3.7 – Конструкція центрифуги

Переваги:

- легкість конструкції;
- енергоефективна;

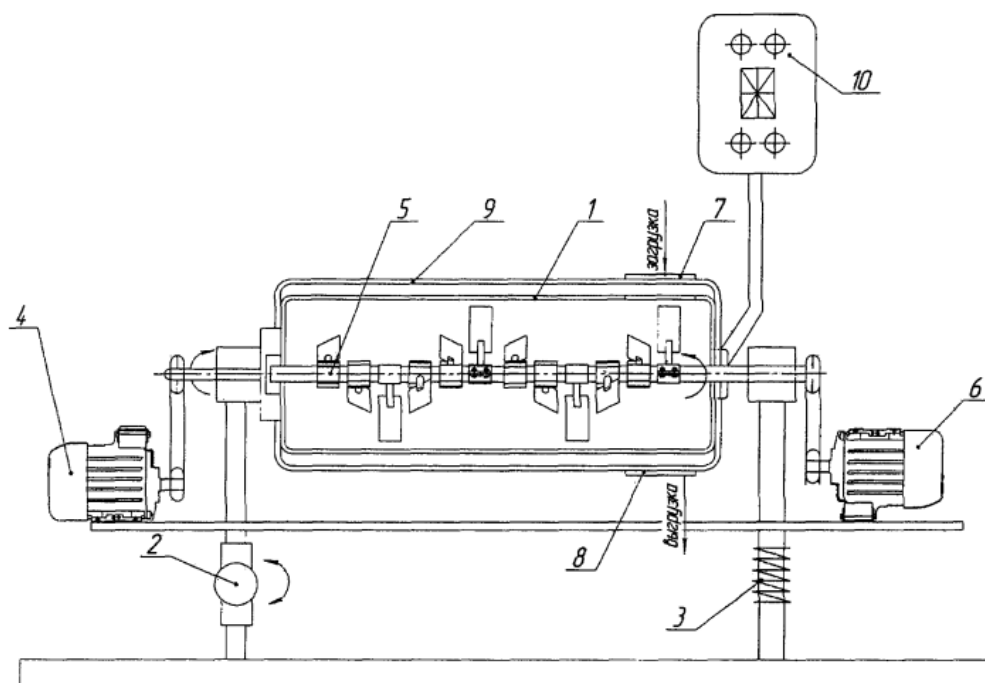
Недоліки:

- великий гідравлічний опір;
- шумність.

### Барабанна сушарка

6. Барабанна сушарка [11], зображена на рисунку 3.8.

В сушарку подається матеріал через люк та перемішується, з нагрівача подається гаряче повітря. Сушарка приводиться в рух за допомогою двох двигунів.



1 – циліндричний барабан; 2 – опора; 3 – опора з регулюванням;

4, 6 – двигун; 5 – лопатева мішалка; 7,8 – люки для завантаження та вивантажування; 9 – теплоізоляційни кожух; 10 – пристрій для подачі повітря.

Рисунок 3.8 – Конструкція барабанної сушарки

Переваги:

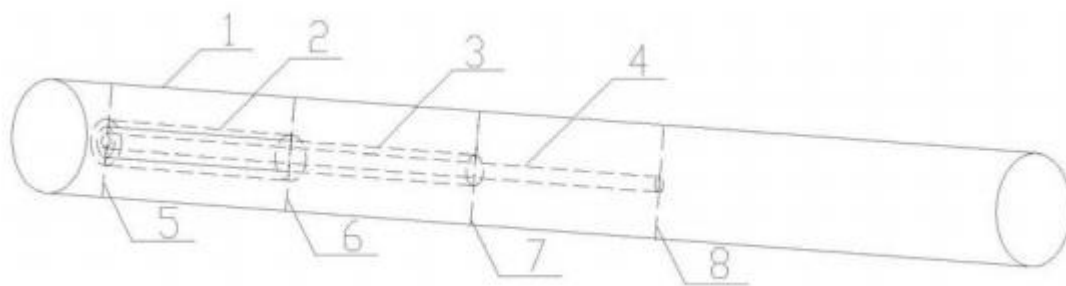
- енергоефективна;
- легкість конструкції;

Недоліки:

- велика металоємність;
- шумність.

7. Барабанна сушарка [12], зображена на рисунку 3.9.

Матеріал потрапляє всередину зовнішнього циліндра та поступово переміщується з одного циліндра у інші внутрішні та обдувається гарячим повітрям.



1 – зовнішній циліндр; 2 – перший внутрішній циліндр; 3 – другий внутрішній циліндр; 4 – третій внутрішній циліндр; 5 – ребро; 6, 7 – опорне ребро; 8 – опора.

Рисунок 3.9 – Конструкція барабанної сушарки

Переваги:

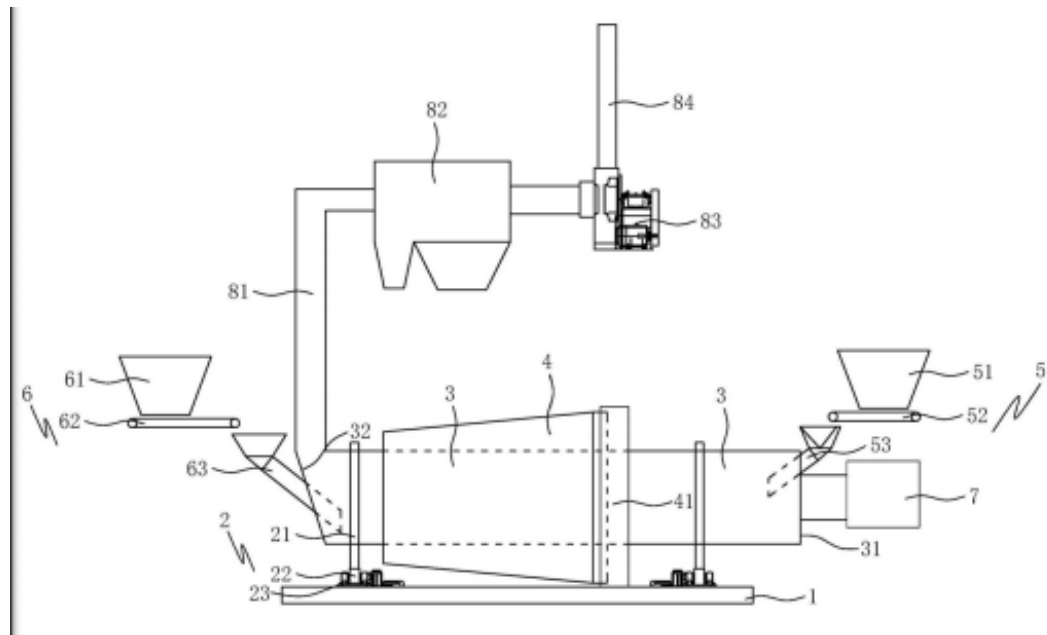
- енергоефективна;
- легкість конструкції;

Недоліки:

- велика металоємність;
- шумність.

8. Барабанна сушарка [13], зображена на рисунку 3.10.

В сушарку подається матеріал з лівої та правої сторони, гаряче повітря нагрівається газом та подається у барабан. Кінцевий матеріал видаляється з барабана через випускний отвір.



1 – основа; 2 – ведучий пристрій; 3 – внутрішній барабан; 4 – зовнішній барабан; 5 – пристрій транспортування холодного повітря; 6 – пристрій;  
7 – пальник; 21 – кільце; 22 – буксир; 23 – привідний двигун; 31 – I отвір подачі; 32 – II отвір подачі; 41 – випускний отвір; 51, 61 – силосний отвір; 52, 62 – верхній пояс; 53, 63 – жолоб подачі; 81, 84 – димохід; 82 – пилозбірник; 83 – вентилятор.

Рисунок 3.10 – Конструкція барабанної сушарки

Переваги:

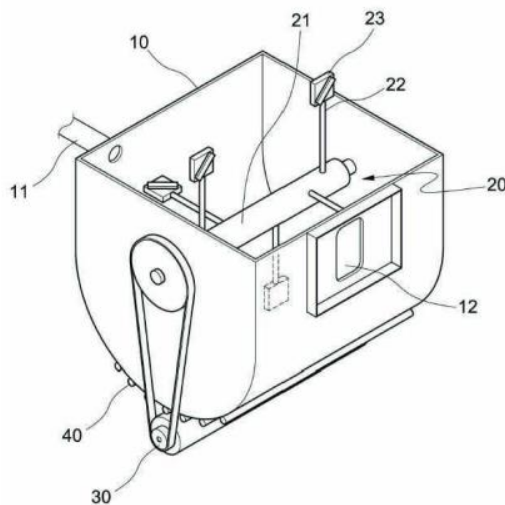
- енергоефективна;
- велика продуктивність;

Недоліки:

- значна металоємність;
- шумність.
- об'ємність конструкції

9. Барабанна сушарка [14], зображена на рисунку 3.11.

Сушарка має лопаті, за допомогою яких матеріал перемішується та висушується. Двигун передає обертовий момент по ременю.



10 – барабан; 11 – труба; 12 – двері завантаження; 20 – опорний каркас; 21 – вал; 22 – лопатка; 23 – валик; 30 – двигун; 40 – труби.

Рисунок 3.11 – Конструкція барабанної сушарки

Переваги:

- великий ККД;
- мала металоємність;

Недоліки:

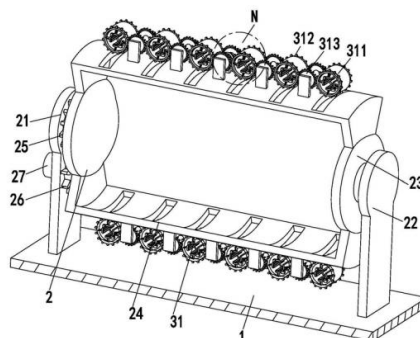
- значна вібрація;
- шумність.

10. Барабанна сушарка [15], зображена на рисунку 3.12.

У сушарку, яка приводиться до руху за допомогою шестерні на головному

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

валі, шестерні на барабані відкривають та закривають вікна завантаження та вивантаження матеріалу.



1 – плита; 2 – кріпильний елемент; 21,22 – монтажна пластина;  
 23 – кругова пластина; 24 – рамка; 25 – колесо; 26 – ведуча передача;  
 27 – двигун; 31 – нерухома гілка;  
 311 – нерухоме кільце; 312 – нерухома шестерня; 313 – перехідна передача.

Рисунок 3.12 – Конструкція барабанної сушарки

Переваги:

- малі габарити;
- простота обслуговування;

Недоліки:

- велика металоємність;
- шумність;
- недостатнє висушування.

Патентний формуляр і патенти наведені в додатку 3.

Висновок: за результатами патентного дослідження було виявлено, що у проєктованих барабанній сушарці та центрифuzі не було використано рішень, які були захищені іншими патентами, згідно із цим вважаємо барабанну сушарку патентно чистою.



## 4. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів

### 4.1 Розрахунок центрифуги

#### 4.1.1 Параметричний розрахунок центрифуги

Метою розрахунку є обрати тип фільтруючого апарату для морської солі і знайти необхідну кількість апаратів.

Конструкція центрифуги представлена на рисунку 4.1.

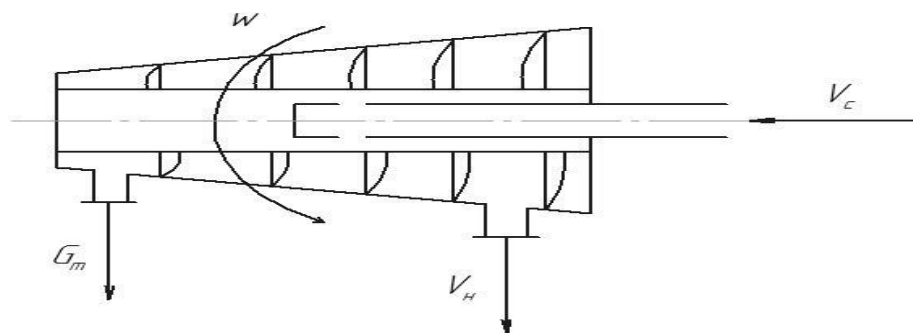


Рисунок 4.1 – Схема центрифуги

Вихідні дані:

продуктивність за суспензією $G_1$ , кг/с	0,15;
початкова масова концентрація твердих частинок $x_1$ , %	25;
кінцева масова концентрація твердих частинок $x_2$ , %	80;
мінімальний розмір твердих частинок $d_{min}$ , м	$2 \cdot 10^{-6}$ ;
густина твердої фази $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	2150;
густина рідкої фази $\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup>	1000;
динамічна в'язкість рідини $\mu$ , Па·с	$0,8 \cdot 10^{-3}$ ;
діаметр ротора $D$ , м	0,5;
довжина циліндричної частини ротора $L$ , м	0,8;
частота обертання ротору $n$ , об/хв	2350;
коефіцієнт заповнення центрифуги $\phi$	0,5;

радіус зливу  $R_1$ , м 0,2;

добова норма продуктивності  $G_{\text{dob}}$ , т 40;

Розрахунок проводимо за методикою, що наведена в [18].

### Визначення тиску фільтрації

Визначаємо робочий об'єм барабана:

$$V_c = 0,785 D^2 L \varphi, \text{ м}^3 \quad (4.1)$$

Поверхня фільтрації центрифуги:

$$F = \pi D L, \text{ м}^2 \quad (4.2)$$

Тиск фільтрації:

$$\Delta p = \frac{0,011 M R n^2}{F}, \text{ Па} \quad (4.3)$$

Отже, визначили тиск фільтрації.

### Визначення питомої продуктивності

За час центрифугування було профільтровано  $f = 0,2 \text{ м}^3$  суспензії.

Кількість осаду за час центрифугування:

$$G = 1100 f x_1, \text{ кг} \quad (4.4)$$

Питома продуктивність:

$$G_{\text{pit}} = \frac{G}{F \tau}, \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{год} \quad (4.5)$$

Визначаємо фактор розділення:

$$\Phi_p = \frac{R n^2}{900} \quad (4.6)$$

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

## Визначення кількості центрифуг для виконання добової норми

Для забезпечення виконання завдання, доцільно обрати фільтраційну центрифугу безперервної дії зі шнековим вивантаженням осаду. Параметри центрифуги задані на початку розділу.

Добова продуктивність однієї центрифуги для 20 годин роботи:

$$G_{pit20} = 0,75t_{20}G_{pit}, \text{ кг} \quad (4.7)$$

Потужність на подолання інерції маси морської солі, що подається в ротор центрифуги:

$$N_1 = \frac{G_6 \cdot (\omega \cdot R)^2}{2 \cdot \tau_n}, \text{ Вт} \quad (4.8)$$

Кількість центрифуг:

$$N = \frac{G_{dob}}{G_{pit20}} \quad (4.9)$$

Таблиця з ідентифікаторами, блок-схема розрахунку, підстановка та обрахунок числових даних виконані в середовищі MathCad (див. додаток В).

Висновок: за розрахунками було визначено фільтруючий тип центрифуги, необхідну для нормального забезпечення протікання процесу, обрано фільтруючу центрифугу зі шнековим вивантаженням осаду. За розрахунками було визначено: тиск фільтрації  $\Delta p = 8,353 \cdot 10^5$  Па, поверхню фільтрації центрифуги  $F = 1,256$  м<sup>2</sup>, питома продуктивність  $G_{pit} = 43,79$  кг/м<sup>2</sup>·год, фактор розділення  $\Phi_p = 1227$ , необхідна кількість центрифуг  $N = 19$ .

### 4.1.2 Розрахунок ротора центрифуг на міцність

Метою розрахунку є визначення напруження ротора та перевірити, чи виконується умова міцності

Вихідні дані:

радіус ротора  $R$ , м

0,25;

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

довжина циліндричної частини ротора $L$ , м	0,8;
частота обертання ротору $n$ , $\text{с}^{-1}$	2350;
радіус зливу $R_1$ , м	0,2;
допустиме напруження для матеріалу ротора $[\sigma]$ , Па	$182 \cdot 10^6$ ;
густина матеріалу ротора $\rho$ , $\text{кг/м}^3$	7850;
густина суспензії $\rho_c$ , $\text{кг/м}^3$	1154;

Розрахунок ведемо за методикою, що викладена в [17]. На рисунку 4.2 наведена схема прикладання внутрішніх сил до циліндричної обичайки:

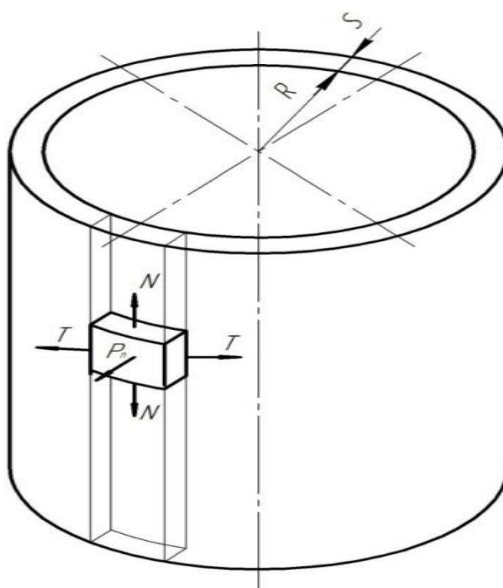


Рисунок 4.2 – Схема прикладання сил.

Розрахунок ведеться в безмоментній зоні.

Кутова швидкість:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \text{ рад/с} \quad (4.10)$$

Лінійна швидкість ротора:

$$w = \omega R, \text{ м/с} \quad (4.11)$$

Умовний коефіцієнт заповнення ротора:

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$\phi = \frac{R^2 - R_1^2}{R^2} \quad (4.12)$$

Критерій Ньютона:

$$Ne = \frac{[\sigma]}{w^2 \rho} \quad (4.13)$$

Оскільки  $Ne > 2,54$  – обичайка ротора тонкостінна.

Співвідношення густини суспензії до густини матеріалу ротора:

$$\lambda = \frac{\rho_c}{\rho} \quad (4.14)$$

Розрахункова товщина стінки циліндричної частини ротора:

$$s_R = \frac{\lambda \phi R \cdot w^2 \rho}{2([\sigma] \phi - w^2 \rho)} \text{, м} \quad (4.15)$$

Приймаємо товщину стінки ротора  $s = 16 \cdot 10^{-3}$  м.

Допустима кутова швидкість  $[\omega]$  суцільної обичайки з умови її міцності:

$$[\omega] = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{[\sigma] \phi}{\frac{\rho_c R \phi}{2(S-C)} + \rho}} \text{, рад/с} \quad (4.16)$$

Перевіряємо умову міцності:

$$\omega < [\omega]$$

$$246,091 < 1464$$

Умова міцності виконується.

Радіальне переміщення стінки:

$$\Delta = \frac{\rho_c \omega^2 R^4}{2E(S-C)} \phi \left( 1 - \frac{\mu \cdot \phi}{4} \right) + \frac{\rho \omega^2 R^3}{E} \text{, м} \quad (4.17)$$

Таблиця з ідентифікаторами, блок-схема розрахунку, підстановка та обрахунок числових даних виконані в середовищі MathCad (див. додаток Г).

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Висновок: за результатами розрахунків було визначено розрахункову товщину стінки ротора центрифуги, яку прийняли  $S = 16$  мм, та перевірена умова міцності ротора, були знайдено радіальне зміщення стінки ротора ( $\Delta = 6,431 \cdot 10^{-6}$  м) під час роботи.

#### 4.1.3 Розрахунок конічної частини обичайки ротора центрифуги в безмоментній зоні

Мета розрахунку: розрахувати товщину стінки конічної частини обичайки ротора в безмоментній зоні.

Методика розрахунку згідно з [17].

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.3.

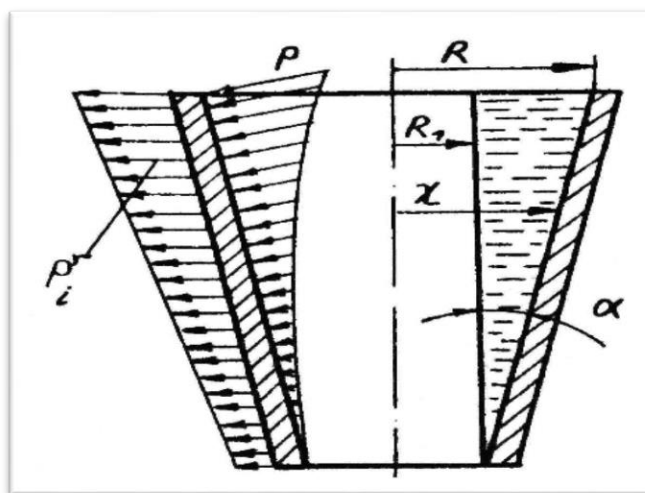


Рисунок 4.3 – Схема навантажень на конічну обичайку

Вихідні дані:

Найбільший внутрішній радіус ротора $R$ , м	0,2;
Коефіцієнт заповнення $\psi$	0,5;
Кутова швидкість ротора $\omega$ , рад/с	246,091;
Густина суспензії $\rho_s$ , кг/м <sup>3</sup>	1100;

Матеріал ротора	сталь 12X18H10T
Густина матеріалу ротора $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7850;
Модуль повздовжньої пружності $E$ , МПа	$2,05 \cdot 10^5$ ;
Коефіцієнт Пуассона $\mu$	0,3;
Допустиме напруження матеріалу обичайки ротора $[\sigma]$ , МПа	178;
Коефіцієнт міцності зварних швів $\phi$	0,9;
Кут конуса обичайки $\alpha$ , град.	8;
Прибавка до розрахункової товщини стінки $c$ , м	0,0005.

Розрахункова товщина стінки конічної обичайки у безмоментній зоні:

$$S_{кр} = \frac{\rho_c \cdot \omega^2 \cdot R^3 \cdot \psi}{2 \cdot ([\sigma] \cdot \phi - \rho \cdot \omega^2 \cdot R^2) \cdot \cos \alpha} = \quad (4.18)$$

$$= \frac{1154 \cdot 246,091^2 \cdot 0,2^3 \cdot 0,32 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot \left( 178 \cdot 0,9 - \frac{7850 \cdot 246,091^2 \cdot 0,2^2}{10^6} \right) \cdot \cos 8^\circ} = 0,0159 \text{ м.}$$

Враховуючи прибавки:

$$S = S_{кр} + c = 0,0159 + 0,0005 = 0,0164 \text{ м.} \quad (4.19)$$

Приймаємо товщину стінки  $S = 0,018 \text{ м.}$

Допустима кутова швидкість конічної частини обичайки ротора центрифуги з умови її міцності:

$$[\omega]_к = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{[\sigma] \cdot \phi}{\frac{\rho_c \cdot \psi \cdot R}{(2 \cdot (S - c) \cdot \cos \alpha) + \rho}}} = \quad (4.20)$$

$$= \frac{1}{0,2} \cdot \sqrt{\frac{178 \cdot 0,9 \cdot 10^6}{\frac{1154 \cdot 0,32 \cdot 0,2}{(2 \cdot (0,018 - 0,0005) \cdot \cos 8^\circ) + 7850}}} = 317,34 \text{ рад/с.}$$

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Тоді:

$$\omega < [\omega]_k;$$

$$246,091 \text{ рад/с} < 317,34 \text{ рад/с}.$$

Таким чином умова міцності конічної частини обичайки ротора центрифуги виконується.

Висновок: У результаті розрахунку ми отримали товщину стінки конічної обичайки, для якої виконується умова міцності в безмоментній зоні з врахуванням прибавок. Враховуючи стандартний ряд та вимоги до транспортування приймаємо значення  $S = 0,018 \text{ м}$ .

## 4.2 Розрахунок барабанної сушарки

### 4.2.1 Визначення основних геометричних розмірів апарата

Метою розрахунку є визначення основних геометричних розмірів барабанної сушарки.

Схема барабанної сушарки зображена на рисунку 4.4.

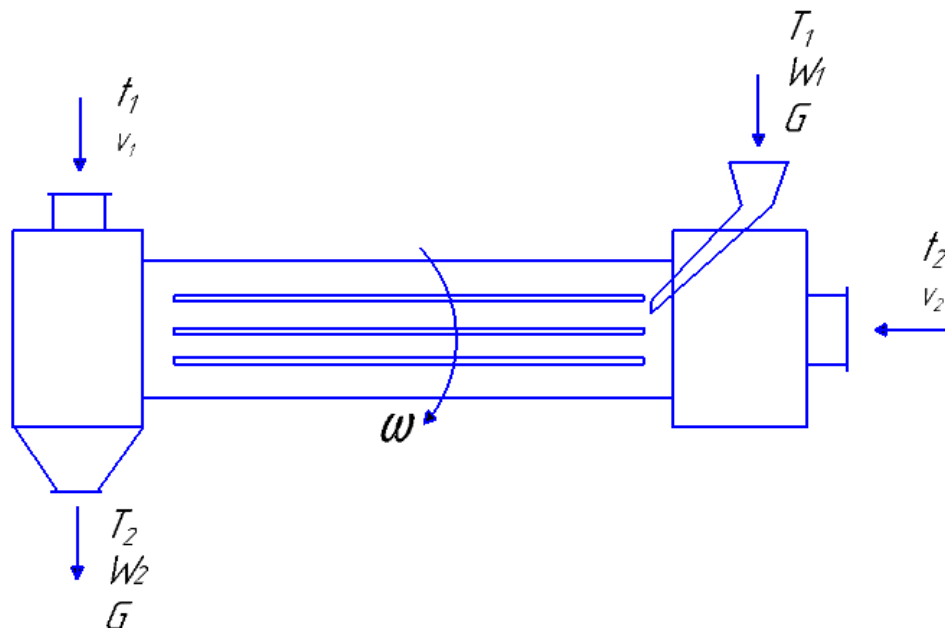


Рисунок 4.4 – Схема барабанної сушарки

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



Розрахунок проведемо за методикою наведеною в [16].

Насадка – лопатева. Сушильний агент – повітря, так як недопустиме засмічення продукту. Схема руху сушильного агента і матеріалу в сушарці протитечійна.

Проведемо розрахунок сушарки аналітичним методом.

Вихідні дані:

Продуктивність сушарки по кінцевому продукту, кг/год ( $G$ )	1700.
Початкова вологість матеріалу, %, ( $\omega_1$ )	20.
Кінцева вологість матеріалу, %, ( $\omega_2$ )	8.
Температура повітря на вході в сушарку, °C, ( $t_1$ )	280.
Температура повітря на виході з сушарки, °C, ( $t_2$ )	110.
Температура солі на вході в барабан, °C, ( $T_1$ )	30.
Температура солі на виході з барабана, °C, ( $T_2$ )	95.
Густина, кг/м <sup>3</sup> , ( $\rho$ )	2150.
Насипна густина, кг/м <sup>3</sup> , ( $\rho_n$ )	1100.
Барометричний тиск в даній місцевості, мм.рт.ст., (B)	760.
Вологість повітря, %, ( $\varphi_0$ )	70.
Коефіцієнт заповнення барабана, %, ( $\beta$ )	20.
Аналітичним методом визначаємо $d_0$ і $l_0$ .	

Вологовміст зовнішнього повітря:

$$d_0 = 622 \cdot \frac{\varphi_0 p_H}{B - \varphi_0 p_H} \quad (4.21)$$

Тепловміст зовнішнього повітря:

$$l_0 = 0.24t + (595 + 0.47t) \cdot \frac{d_0}{1000}, \text{ кДж/кг} \quad (4.22)$$

Параметри повітря на виході з калорифера:

$$t_1 = 280^\circ\text{C}; \quad d_1 = d_0 = 1.166; \quad l_1 = 68.047 \text{ кДж/кг.}$$

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Параметри повітря на виході з сушарки:

$$t_2 = 110^{\circ}\text{C} , \quad \varphi_2 = 55\% , \quad d_2 = 48.066 \text{ кДж/кг.}$$

При температурі  $280^{\circ}\text{C}$   $p_H = 4540 \text{ кг/м}^3$

$$l_2 = 57.484 \text{ кДж/кг.}$$

Матеріальний баланс сушарки.

Кількість матеріалу що надходить на сушку.

$$G_1 = G_{sux} \cdot \frac{100}{100 - \omega_1} , \text{ кг/ГОД} \quad (4.23)$$

Кількість висушеного матеріалу

$$G_2 = G_{sux} \cdot \frac{100}{100 - \omega_2} , \text{ кг/ГОД} \quad (4.24)$$

Кількість видаляємої води

$$W = G_1 - G_2 , \text{ кг/ГОД} \quad (4.25)$$

Перевіряємо цю величину за формулою

$$W = G_1 \cdot \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} , \text{ кг/ГОД} \quad (4.26)$$

Попередній вибір основних габаритних розмірів барабана. Задаємося напругою барабана по волозі і вибираємо діаметр барабана :  $A_v = 70 \text{ кг/м}^3$  і  $D_b = 1000 \text{ мм.}$

Об'єм барабана

$$V_b = \frac{W}{A_v} , \text{ м}^3 \quad (4.27)$$

Визначаємо довжину барабана

$$L_b = \frac{V_b}{0.785 D_b^2} , \text{ м} \quad (4.28)$$

Приймаємо  $L_b = 5 \text{ м}$

Тепловий баланс сушарки для зимових умов. Питомі витрати сухого повітря на сушку

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_0}, \text{ кДж/кг} \quad (4.29)$$

Витрати повітря

$$L = lW, \text{ кДж/год} \quad (4.30)$$

Об'єм повітря на вході в сушарку знайдемо за формулою

$$V_1 = T_1 L, \text{ м}^3 \quad (4.31)$$

Об'єм повітря на виході з сушарки

$$V_2 = T_2 L, \text{ м}^3 \quad (4.32)$$

Витрати тепла на підігрівання повітря в калорифері

$$q_k = l(l_1 - l_0), \text{ кДж/кг} \quad (4.33)$$

Витрати тепла( годинні)

$$Q = q_k \cdot W, \text{ кДж/кг} \quad (4.34)$$

Визначення втрат тепла в оточуюче середовище.  $K$  – коефіцієнт теплопередачі від повітря в оточуюче середовище.

Середня швидкість повітря в сушарці

$$\omega_{cp} = \frac{0.5(V_1 + V_2)}{f_b^2(1 - \beta)}, \text{ м/с} \quad (4.35)$$

Середня температура повітря в сушарці

$$t_f = \frac{t_1 + t_2}{2}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.36)$$

Фізичні константи повітря наступні

$$\nu = 40.7468 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{сек} ; \lambda = 3.3247 \cdot 10^{-2} \text{ кДж} / \text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град.}$$

Визначаємо режим руху повітря

$$\text{Re} = \frac{\omega_{cp}}{\nu} \quad (4.37)$$

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря до стінки за рахунок вимушеної конвекції

$$Nu = 0.018 Re_f^{0.8} \cdot \varepsilon_l \quad (4.38)$$

$$\varepsilon_l = 1.15 \quad (4.39)$$

Тоді

$$\alpha'_1 = \frac{Nu \lambda}{D} \quad (4.40)$$

Коефіцієнт тепловіддачі за рахунок вільної конвекції

$$Nu_f = 0.47 Gr_f^{0.25} \quad (4.41)$$

Критерій Грасгофа

$$Gr_f = \frac{g D^3}{\nu^2} \cdot \frac{\Delta T}{T} \quad (4.42)$$

Тоді

$$\alpha''_1 = \frac{Nu \lambda}{D} \quad (4.43)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря до стінки

$$\alpha_1 = k(\alpha'_1 + \alpha''_1) \quad (4.44)$$

Вважаємо, що температура в цеху рівна 15 °С, а температура ізольованої зовнішньої стінки барабана  $t_{\omega_2} = 30^\circ\text{C}$ . Середня температура граничного шару повітря біля стінки:

$$t_{n.сл.} = \frac{30 + 15}{2} \approx 22^\circ\text{C}$$

Для цих умов  $\nu = 15.1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{сек}$ ;  $\lambda = 2.25 \cdot 10^{-2} \text{ кДж} / \text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ . Тоді критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{g D^3}{\nu^2} \cdot \frac{\Delta T}{T} \quad (4.45)$$

З урахуванням товщини стінки і шару ізоляції зовнішній діаметр  $D_H$  барабана орієнтовно приймаємо рівним 1,042 м. Тоді  $(GrPr) > 2 \cdot 10^6$ . За цими даними вибираємо відповідну формулу для розрахунку:

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$Nu_m = 0.135 \cdot \sqrt[3]{Gr \cdot Pr} \quad (4.46)$$

$$\alpha_2' = \frac{Nu \cdot \lambda}{D_H} \quad (4.47)$$

Коефіцієнт тепловіддачі за рахунок випромінювання

$$\alpha_2'' = \frac{\varepsilon \cdot C_0 \cdot \left[ \left( \frac{T_{cm}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{cp}}{100} \right)^4 \right]}{T_{cm} - T_{cp}} \quad (4.48)$$

де  $\varepsilon = 0.95$  – степінь чорноти для поверхні, покритої масляною фарбою.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки барабана до повітря

$$\alpha_2 = \alpha_2' + \alpha_2'' \quad (4.49)$$

Визначимо необхідну товщину шару ізоляції. Вважаємо, що шар ізоляції, товщиною  $\delta_2$ , захищений кожухом із заліза  $\delta_2 \approx 1$  мм, коефіцієнт теплопровідності заліза  $\lambda_3 = 39 \text{ кДж/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ . В якості ізоляційного матеріалу вибираємо скловату ( $\lambda = 0.021 \text{ кДж/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ ). Товщина стінки барабану  $\delta_2 = 10$  мм;  $\lambda = 39 \text{ кДж/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ . Також можна записати, що  $t_{\omega}' = t_{\omega_1}$  і  $t_{\omega}'' = t_{\omega_2}$ , але  $t_{\omega_1} = 280^\circ\text{C}$  і  $t_{\omega_2} = 30^\circ\text{C}$ .

Питомий тепловий потік

$$q_l = \pi D_{вн} \alpha_1 \left( t_f - t_{\omega_1} \right), \text{ кДж/кг} \quad (4.50)$$

Знаходимо зовнішній діаметр барабана з ізоляцією  $D_H$  за наступною формулою:

$$q_l = \frac{2\pi\lambda_{із} \left( t_{\omega_1} - t_{\omega_2} \right)}{2.31 \lg \frac{D_2}{D_1}}, \text{ кДж/кг} \quad (4.51)$$

де  $D_1 = 1.02$  м – зовнішній діаметр барабана. Звідси  $D_2 = 1.042$  м і товщина шару ізоляції  $\delta_2 = 10$  мм. Уточнюємо зовнішній діаметр барабана:

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$D_H = 1 + 2 \cdot 0.01 + 2 \cdot 0.001 + 2 \cdot 0.01 = 1.042 \text{ м.}$$

Сумарний коефіцієнт теплопередачі

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \left( \frac{\delta_1 + \delta_3}{\lambda_1} \right) + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} \quad (4.52)$$

Середня різниця температур між сушильним агентом і навколишнім середовищем

$$\Delta t_{\bar{\theta}} = 280 - 15 = 235^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_M = 110 - 15 = 95^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} - \Delta t_M}{2.3 \lg \frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_M}}, ^\circ\text{C} \quad (4.53)$$

Поверхня теплообміну

$$F \approx \pi D_H L_{\bar{\theta}} + 2 \cdot 0.785 D_H^2, \text{ м}^2 \quad (4.54)$$

Втрати тепла в навколишнє середовище

$$q_{\Pi} = \frac{KF \Delta t_{cp}}{W}, \text{ кДж/кг} \quad (4.55)$$

Теплоємність матеріалу на виході із сушарки

$$c_M = 0.23 \frac{100 - \omega_2}{100} + \frac{\omega_2}{100} = 0.292 \text{ кДж / кг} \cdot \text{град} \quad (4.56)$$

Складемо тепловий баланс сушарки

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Прихід тепла, кДж/кг вологи

1. З повітрям

$$q = I I_0 = -36,496$$

2. З вологою матеріалу

$$q = T_1 = 30$$

3. З вологою матеріалу

$$q = \frac{G_2}{W} c_m T_1 = 58,357$$

4. Від джерела тепла в калорифері

$$q_K = 1487$$

Сума

1539

Витрата тепла, кДж/кг вологи

1. З повітрям

$$q = I I_2 = 1,266$$

2. З вологою матеріалу

$$q = \frac{G_2}{W} c_m T_2 = 184,796$$

3. Втрати в навколишнє середовище

$$q_{II} = 15,771$$

1426

Різниця балансу – приблизно 113,022 кДж/кг, що складає всього 7.343%.

Розрахунок сушарки для літніх умов.

Цей розрахунок аналогічний розрахунку для зимових умов, змінюються лише параметри навколишнього середовища:  $t_0 = 25^\circ C$  і  $\phi_0 = 55\%$  (для даного географічного району) і початкова температура матеріалу  $T_1 = 30^\circ C$ ;  $t_{уха} = 25^\circ C$

Приймаємо  $\phi_2 = 60\%$  і виконуємо розрахунок аналогічно попередньому:

$I_0 = 12,31$  кДж/кг;  $d_0 = 10,4$  г/кг;  $I_1 = 74,757$  кДж/кг;  $d_2 = 80,644$  г/кг;  $l = 14,236$  кг/кг;  
 $L = 3943$  кг/ч;  $V_1 = 6704$  м<sup>3</sup>/ч;  $V_2 = 4338$  м<sup>3</sup>/ч;  $q_K = 888,99$  кДж/кг;  $Q_K = 24630$  кДж/ч;  
 $q_{II} = 14,251$  кДж/кг.

Складаємо тепловий баланс сушарки для літніх умов.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Прихід тепла, кДж/кг вологи

1. З повітрям

$$q = I_0 = 175,247$$

2. З вологою матеріалу

$$q = T_1 = 30$$

3. З вологою матеріалу

$$q = \frac{G_2}{W} c_m T_1 = 58,357$$

4. Від джерела тепла в калорифері

$$q_K = 888,99$$

Сума

1153

Витрата тепла, кДж/кг вологи

1. З повітрям

$$q = I_2 = 1118$$

2. З вологою матеріалу

$$q = \frac{G_2}{W} c_m T_2 = 184,796$$

3. Втрати в навколишнє середовище

$$q_{II} = 14,251$$

1317

Різниця балансу – приблизно 164,73 кДж/кг, що складає всього 14,29%.

Перевіримо розрахунки (для зимових умов).

Визначаємо величину  $\Delta$ :

$$\Delta = T_1 - (q_m + q_{II}) \quad (4.57)$$

$$q_m = \frac{G_2}{W} c_m (T_2 - T_1), \text{ кДж/кг} \quad (4.58)$$

Перевіримо величину питомої витрати тепла в калорифері:

$$q_K = I(I_2 - I_0) + (q_m + q_{II}) - T_1, \text{ кДж/кг} \quad (4.59)$$

Перевіряємо вибір температури стінки:

$$t_{\omega} = t_f - \frac{K}{\alpha_1} \Delta t_{cp}, ^\circ\text{C} \quad (4.60)$$

$$t_{\omega} = t_c - \frac{K}{\alpha_2} \Delta t_{cp}, ^\circ\text{C} \quad (4.61)$$



Таблиця з ідентифікаторами, блок-схема розрахунку, підстановка та обрахунок числових даних виконані в середовищі MathCad (див. додаток Д).

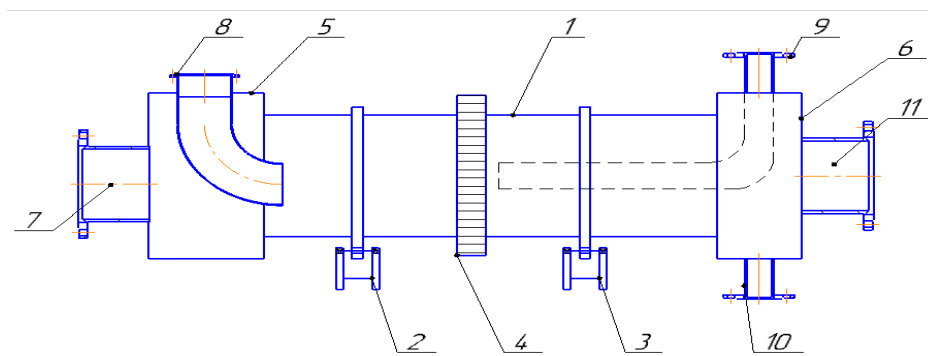
Висновок: за наведеною вище методикою розрахунку було встановлені наступні габаритні розміри барабанної сушарки: діаметр барабана  $D=1$  м; довжина барабана  $L=5$  м; об'єм барабана  $V=3,957\text{м}^3$ . В якості ізоляційного матеріалу прийнято скловато, товщина шару ізоляції  $S=0.02$  м.

### Обґрунтування модернізації барабанної сушарки

В основу модернізації поставлена задача вдосконалення конструкції барабанної сушарки шляхом встановлення штуцера подачі додаткового сушильного агенту, що призведе до збільшення ефективності висушування (рисунок 4.5).

Пропонована конструкція установки полягає в можливості видалення вологи при оптимальних умовах в одному сушильному барабані різних періодів сушіння.

Для підтвердження доцільності модернізації, було проведено моделювання процесу сушіння. Варіанти з різним розташуванням центральної труби зображені на рисунках 4.6, 4.7а та 4.7б.



1 – корпус; 2 – упорно-опорна станція; 3 – упорна станція; 4 – привід; 5 – завантажувальна камера; 6 – вивантажувальна камера; 7 – вихід сушильного агенту; 8 – вхід матеріалу; 9 – вихід сушильного агенту; 10 – вихід матеріалу; 11 – допоміжний сушильний агент.

Рисунок 4.5- Загальний вигляд апарату

Для моделювання використано програмне забезпечення SolidWorks, з наступними вихідними даними: дослід 1 – видаленої вологи 0,9кг, довжина

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

додаткової труби 0; дослід 2 – видаленої вологи 1кг, довжина додаткової труби 3;  
дослід 3 – видаленої вологи 1,1кг, довжина додаткової труби 1,5; За результатами моделювання при встановлені труби на початку барабана отримуємо довжину барабана 6м, при встановлені на довжині  $\frac{1}{2}$  барабана отримуємо довжину барабана 5м.

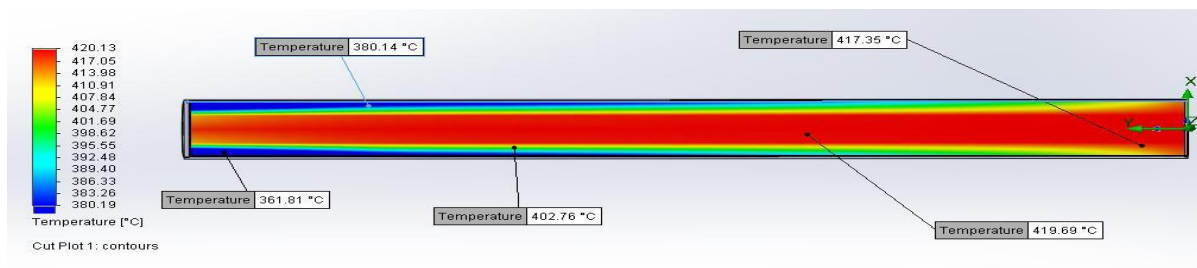
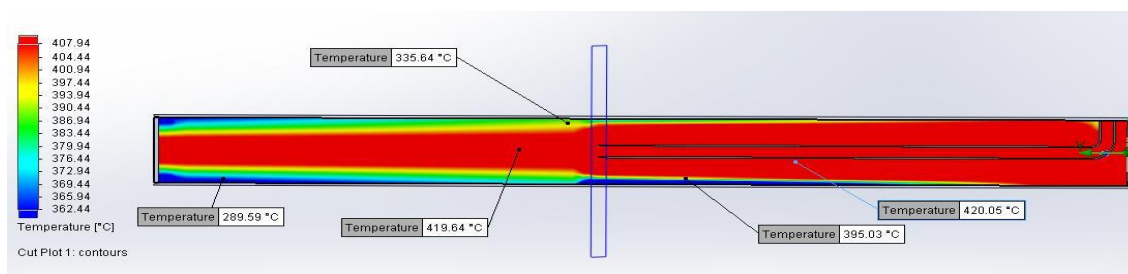


Рисунок 4.6 – без труби додаткового живлення



а



б

Рисунок 4.7 – Результати моделювання

- а – труба додаткового живлення розташована на відстані  $\frac{1}{4}$  довжини барабану;  
б – труба додаткового живлення розташована на відстані  $\frac{1}{2}$  довжини барабану.

Неважко побачити, що з додатковим живленням сушарки, температура всередині залишається сталою по всій довжині барабана.

За результатами моделювання отримали графік (рисунок 4.8).

Висновок: При аналізі графіку було з'ясовано, що при збільшенні кількості видаленої вологи, зменшується розрахункова довжина барабана. При цьому збільшується вартість обладнання, яка складається з експлуатаційних та

капітальних витрат, а також збільшується ефективність сушіння в зв'язку зі зменшенням вологовмісту матеріалу.

Крива 1 показує залежність довжини барабану від кількості видаленої вологи, крива 2 показує залежність довжини барабану від металоємності.

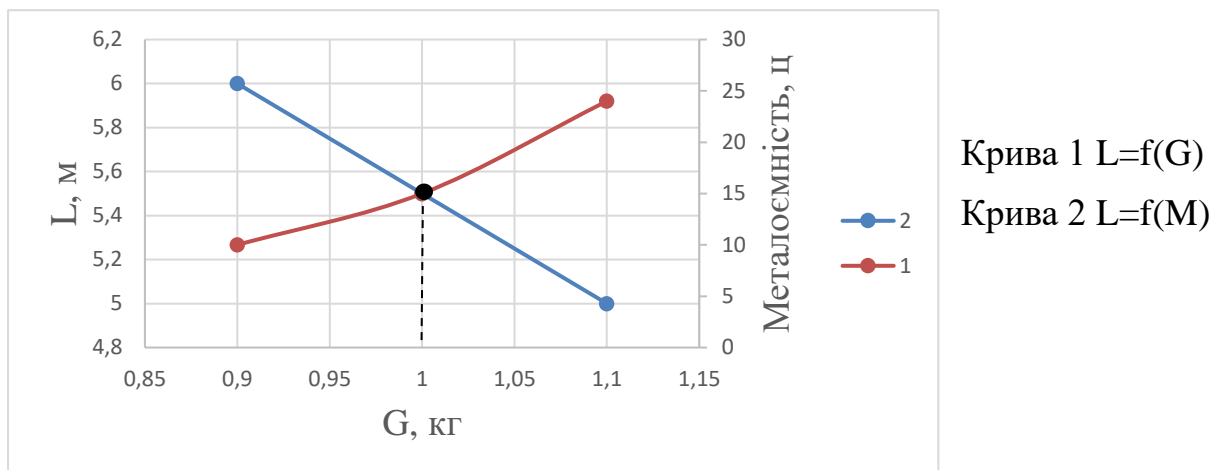


Рисунок 4.8- Графік залежності довжини барабана від кількості видаленої вологи та ціни

#### 4.2.2 Розрахунок корпусу барабанної сушарки

Мета: розрахувати корпусу барабанної сушарки на міцність та жорсткість.

Розрахунок здійснюється за методикою наведеною в [17].

Барабан розглядається як балка, що вільно лежить на двох опорах. Вага барабана, насадки, бандажів, матеріалу, що завантажується, ізоляції – розглядається як рівномірно розподілене навантаження  $q$  по довжині барабана, вага вінцевої шестерні – як зосереджена сила  $Q_6$ .

Початкові дані необхідні до розрахунку:

Відстань від кінця барабана до опорної станції, м ( $l$ )	1,25.
Відстань між станціями, м ( $ll$ )	2,5.
Відстань від опорної станції до шестерні, м ( $l2$ )	1,25.
Матеріал корпусу барабана	12X18H10T ГОСТ 5632–72.
Маса корпусу барабана, кг ( $m_6$ )	750.
Допустиме напруження, МПа ( $[\sigma]$ )	135.
Маса зубчастого вінця, кг ( $m_6$ )	350.

Густина матеріалу ізоляції, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{i3}$ )

170.

Розрахункова схема барабанної сушарки наведена на рисунку 4.9.

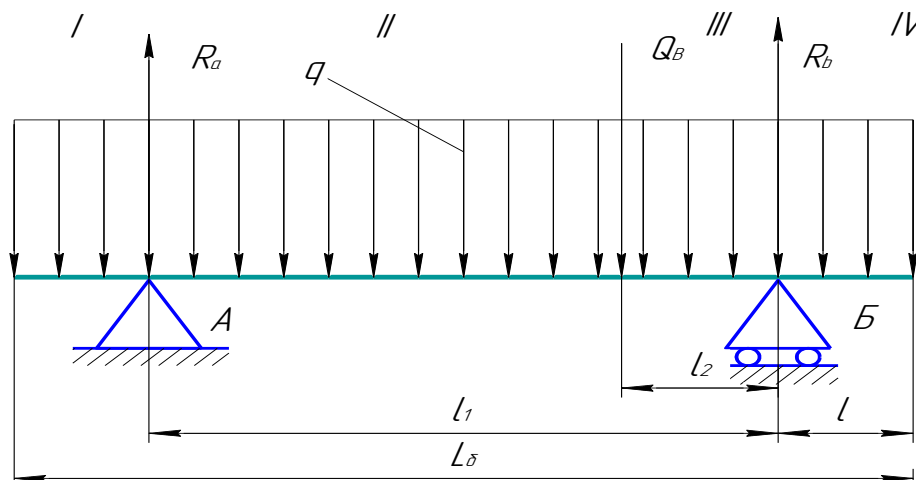


Рисунок 4.9 – Розрахункова схема барабанної сушарки

Перевірка міцності корпусу

Навантаження від зубчастого вінця

$$Q_B = 9,81m_B, \text{ Н} \quad (4.62)$$

Маса теплової ізоляції на корпусі барабана

$$m_{i3} = \rho_{i3} \cdot 0,785 \left( D_{\text{біз}}^2 - D_{\text{б}}^2 \right) L_{\text{б}}, \text{ кг} \quad (4.63)$$

Загальна маса корпусу ізольованого барабана, бандажу з башмаками, зубчастого вінця та насадки

$$m_{\text{бз}} = m_{\text{б}} + 2m_{\text{баш}} + m_B + m_H + m_{i3}, \text{ кг} \quad (4.64)$$

Лінійне навантаження від маси барабана

$$q_2 = \frac{9,81m_{\text{бз}}}{L_{\text{б}}}, \text{ Н/м} \quad (4.65)$$

Маса матеріалу, що знаходиться в сушарці

$$m_M = \beta \rho_M L_{\text{б}} \frac{\pi D_{\text{вн}}^2}{4}, \text{ кг} \quad (4.66)$$

Лінійне навантаження від маси матеріалу

$$q_1 = \frac{9,81m_M}{L_{\text{б}}}, \text{ Н/м} \quad (4.7)$$

Сумарна маса барабана та матеріалу

$$m = m_{\text{бз}} + m_{\text{м}}, \text{ кг} \quad (4.68)$$

Лінійне навантаження

$$q = \frac{9,81m}{L_{\text{б}}}, \text{ Н/м} \quad (4.70)$$

Реакція на опорах

$$R_{\text{а}} = \frac{qL_{\text{б}}}{2} + \frac{Q_{\text{в}}l_2}{l_1}, \text{ Н} \quad (4.71)$$

$$R_{\text{б}} = \frac{qL_{\text{б}}}{2} + \frac{Q_{\text{в}}(l_1 - l_2)}{l_1}, \text{ Н} \quad (4.72)$$

Будуємо епюру навантаження барабана поперечними силами

$$Q(0) = 0; \quad Q(1.25) = -6630 \text{ Н}$$

$$Q(1.25) = 8347 \text{ Н}; \quad Q(2.5) = 1717 \text{ Н}.$$

$$Q(2.5) = -1717 \text{ Н}; \quad Q(3.75) = -8347 \text{ Н}.$$

$$Q(3.75) = 6630 \text{ Н}; \quad Q(5) = 0.$$

Епюра навантаження барабана поперечними силами зображена на рисунку 4.9.

Максимальний вигинаючий момент, що діє на барабан,

$$M_{\text{max}} = \frac{qL_{\text{б}}(2l_1 - L_{\text{б}})}{4} + \frac{Q_{\text{в}}(l_1 - l_2)}{l_1}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.73)$$

Будуємо епюру вигинаючих моментів барабана, від навантаження поперечними силами

$$M(0) = 0; \quad M(1.25) = -4143.75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M(1.25) = -4143.75 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M(2.5) = 2146.25 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M(2.5) = 2146.25 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M(3.75) = -4143.75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M(3.75) = -4143.75 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M(5) = 0.$$

Епюра вигинаючих моментів, що діють на барабан зображена на рисунку 4.10.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Середній діаметр барабана

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{б}} + D_{\text{вн}}}{2}, \text{ м} \quad (4.74)$$

Момент опору перерізу корпусу барабана

$$W = s_{\text{б}} \frac{\pi D_{\text{ср}}^2}{4}, \text{ м}^3 \quad (4.75)$$

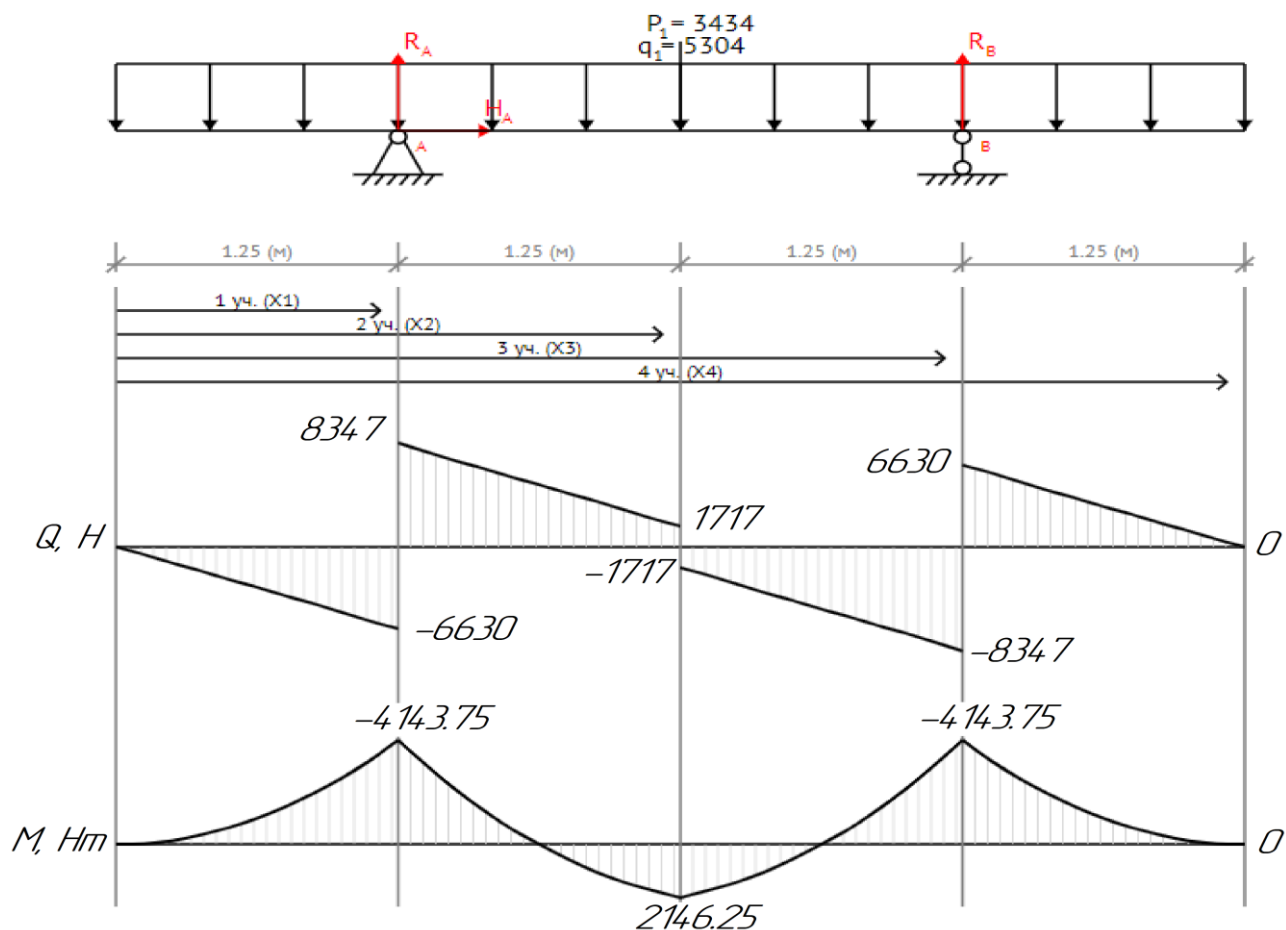


Рисунок 4.10 – Епюра навантаження поперечними силами та вигинаючих моментів, що діють на барабан

Напруження у корпусі барабана

$$\sigma_{\text{б}} = \frac{M_{\text{мах}}}{W \cdot 10^6}, \text{ МПа} \quad (4.76)$$

Перевірка виконання умови міцності

$$[\sigma] \geq \sigma_{\text{б}}.$$

Перевірка жорсткості корпусу сушарки.

Момент інерції одиночного кільця барабана

$$I = \frac{L_6 s^3 \delta}{12}, \text{ м}^2 \quad (4.77)$$

Сумарний прогин від діючих навантажень

$$y_{\max} = \frac{D_{\text{ср}}^3}{4(E \cdot 10^6)I} (0,04q_1 + 0,002q_2), \text{ м} \quad (4.78)$$

Відносний прогин

$$\varepsilon = \frac{y_{\max}}{D_{\text{ср}}} \quad (4.79)$$

Умова жорсткості виконується.

Таблиця з ідентифікаторами, блок-схема розрахунку, підстановка та обрахунок числових даних виконані в середовищі MathCad (див. додаток Е).

Висновок: розраховано параметри корпусу барабанної сушарки і підтверджено виконання умови на міцність та жорсткість. Визначені навантаження на деталі.

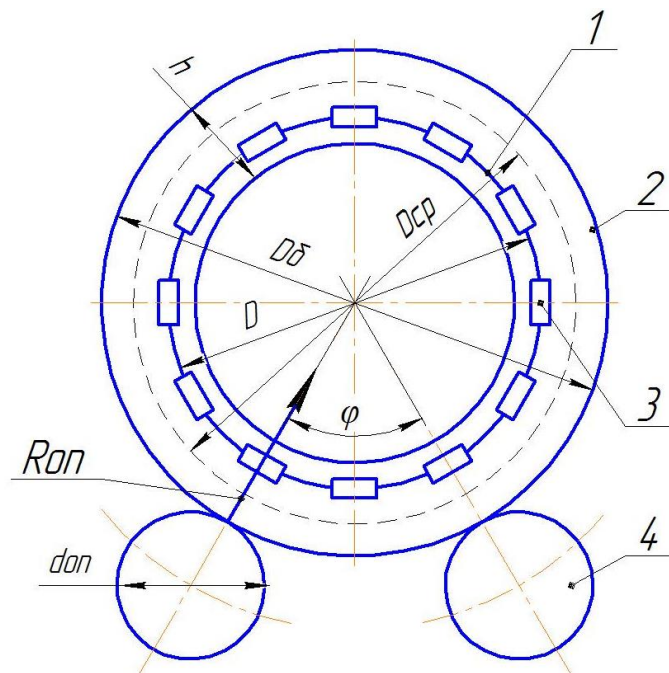
#### **4.2.3 Розрахунок вільно надітого бандажа з умов його роботи на прогин та контактну міцність**

Мета: розрахувати вільно надітий бандаж з умов його роботи на прогин та контактну міцність.

Розрахунок здійснюється за методикою наведеною в [17].

Розрахункова схема бандажа зображена на рисунку 4.11.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



1 – барабан, 2 – бандаж, 3 – башмак, 4 – опорний ролик

Рисунок 4.11 – Розрахункова схема бандажа

Дані для розрахунку:

Матеріал бандажа

Ст 45 Л–1 ГОСТ 977–75.

Допустиме напруження на прогин, МПа ( $[\sigma]_{np}$ )

50.

Модуль пружності матеріалу бандажа під час розтягу, МПа ( $E$ )  $1,85 \cdot 10^5$ .

Зовнішній діаметр бандажа, м ( $D_b$ )

1,23.

Стандартна ширина бандажа, м ( $b$ )

0,135.

Стандартна висота перерізу бандажа, м ( $h$ )

0,115.

Середній діаметр бандажа розраховується із співвідношення  $D_{cp} = kD_{зов}$ ,

де  $k=1,14 \dots 1,22$ . Приймаємо  $k=1,2$ .

Тоді

$$D_{cp} = 1,2D_{зов}, \text{ м} \quad (4.80)$$

Середній радіус бандажа

$$R_{cp} = \frac{D_{cp}}{2}, \text{ м} \quad (4.81)$$



Максимальна реакція опори

$$R_{\text{он}} = \frac{\max(R_a, R_b)}{10^6}, \text{ МН} \quad (4.82)$$

Максимальний вигинаючий момент у вільно надітому бандажі

$$M_{\text{max}} = 0,063 R_{\text{он}} R_{\text{ср}}, \text{ МПа} \quad (4.83)$$

Момент опору перерізу бандажа

$$W = \frac{bh^2}{6}, \text{ м}^3 \quad (4.84)$$

Напруження, що виникає у бандажі

$$\sigma_b = \frac{M_{\text{max}}}{W}, \text{ МПа} \quad (4.85)$$

Таблиця з ідентифікаторами, блок-схема розрахунку, підстановка та обрахунок числових даних виконані в середовищі MathCad (див. додаток Є).

Висновок: розраховано вільно надітий бандаж з умов його роботи на прогин та контактну міцність. Підтверджено її надійність.

#### 4.2.4 Розрахунок опорних роликів

Мета: розрахувати опорні ролики.

Розрахунок здійснюється за методикою наведеною в [17].

Схема опорного ролика зображена на рисунку 4.12.

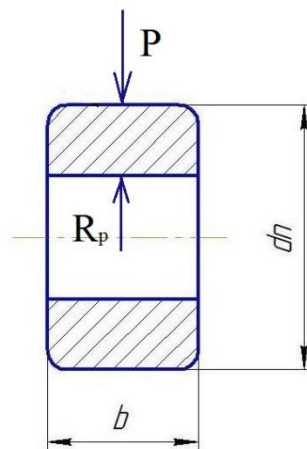


Рисунок 4.12 – Схема розрахунку опорних роликів

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Дані для розрахунку:

Матеріал роликів	Сталь 45 ГОСТ 1050–88.
Допустиме контактне напруження, МПа ( $[\sigma]_к$ )	500.
Модуль пружності матеріалу роликів, МПа ( $E$ )	$2 \cdot 10^5$ .
Діаметр опорного ролика, м ( $d_p$ )	0,25.
Вага опорного ролика, кг ( $m_p$ )	127.
Кут між опорними роликами, ...° ( $\varphi$ )	30.
Допустима межа текучості, МПа ( $\sigma_m$ )	245.
Допустима межа витривалості, МПа ( $\sigma_s$ )	491.

Реакція опорного ролика, коли відоме максимальне навантаження на опору

$$R_p = \frac{R_{op}}{2 \cos(\varphi)}, \text{ МН} \quad (4.86)$$

Максимальний контактний тиск між бандажем та опорним роликом для паралельних циліндричних поверхонь із матеріалів з однаковим модулем пружності, за формулою Герца

$$P = 0,418 \sqrt{\frac{R_p E (D_{зov} + d_p)}{b D_{зov} d_p}}, \text{ МПа} \quad (4.87)$$

Допустиме контактне напруження за умови відсутності течії матеріалу та за відсутності обертання барабана становить  $2\sigma_m$ . Отже умова контактної міцності  $P < 2\sigma_t$  ( $106,572 < 490$ ) виконується.

Граничне контактне напруження по критерію витривалості при обертанні, вибирають в залежності від твердості НВ (за Бринелем) робочих поверхонь роликів та бандажів. Виходячи з цього допустиме контактне напруження 600...800 МПа.

Таблиця з ідентифікаторами, блок-схема розрахунку, підстановка та обрахунок числових даних виконані в середовищі MathCad (див. додаток Є).

Висновок: розраховано основні параметри опорного ролика, та з розрахунків підтверджено, що так як  $P < 800$  ( $106,572 < 800$ ), то умова контактної міцності виконується.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

#### 4.2.5 Розрахунок упорних роликів

Мета: розрахувати упорні ролики.

Розрахунок здійснюється за методикою наведеною в [17].

Розрахункова схема упорного ролика зображена на рисунку 4.13.

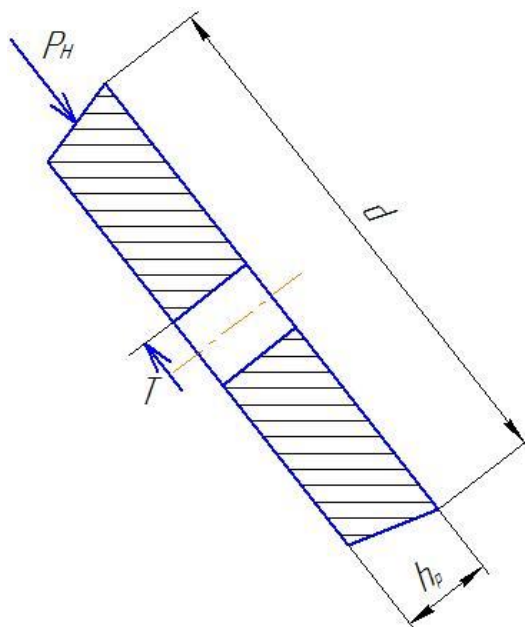


Рисунок 4.13 – Розрахункова схема упорного ролика

Дані для розрахунку:

Матеріал роликів	Сталь 45 ГОСТ 1050–88.
Допустиме контактне напруження бандажа, МПа ( $[\sigma]_6$ )	350.
Модуль пружності матеріалу роликів, МПа ( $E$ )	$2 \cdot 10^5$ .
Діаметр упорного ролика, м ( $d$ )	0,15.
Кут між упорними роликами, ...° ( $2\gamma$ )	17.
Кут нахилу барабана, ...° ( $\alpha$ )	1,388.
Висота ролика, м ( $h_p$ )	0,032.
Вага барабана, Н ( $G$ )	7500.
Діаметр бандажа, м ( $D_6$ )	1,23.
Розраховуємо зусилля $T$	
$T = 0,04G$ , Н (4.88)	

Нормальну складову, що діє на ролик знаходимо за такою формулою:

$$P_H = \frac{G}{\sin(90 - \alpha + \gamma)}, \text{ Н} \quad (4.89)$$

Для знаходження максимального контактного тиску від дії сили  $P_H$  визначаємо складові цієї формули:

$$l = \frac{h_p}{\cos(\gamma)}, \text{ м} \quad (4.90)$$

$$R_H = \frac{D_b - h_p}{2 \sin \gamma}, \text{ м} \quad (4.91)$$

$$r_H = \frac{D_b - h_p}{2} \cdot \frac{\tan \gamma}{\cos \gamma}, \text{ м} \quad (4.92)$$

Знаходимо максимальний контактний тиск від сили  $P_H$

$$p = 0,418 \sqrt{\frac{P_H E (R_H + r_H)}{l R_H r_H}}, \text{ Па} \quad (4.93)$$

Таблиця з ідентифікаторами, блок-схема розрахунку, підстановка та обрахунок числових даних виконані в середовищі MathCad (див. додаток Є).

Висновок: розраховано основні параметри упорного ролика, та з розрахунків підтверджено, що умова контактної міцності виконується.

#### 4.2.6 Розрахунок потужності двигуна сушарки

Мета: розрахувати необхідну потужність електродвигуна.

Розрахунок проведено за методикою [17].

Розрахункову схему електродвигуна наведено на рисунку 4.14.

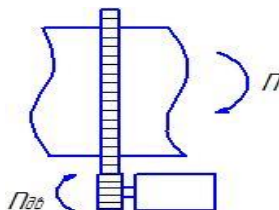


Рисунок 4.14 – Розрахункова схема електродвигуна

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Вихідні дані:

Діаметр барабана, м ( $D_b$ )	1.
Довжина барабана, м ( $L_b$ )	5.
Об'єм барабана, м <sup>3</sup> ( $V_b$ )	3,96.
Напруження барабана по волозі, кг/(м <sup>3</sup> год) ( $A_v$ )	70.
Насипна густина матеріалу, кг/м <sup>3</sup> ( $\rho_m$ ),	1250.

$$\tau_1 = 60 \cdot \beta \cdot \rho_m \frac{V_b}{G_1}, \text{ хв} \quad (4.94)$$

$$\tau_2 = 120 \frac{\beta \rho_m (w_1 - w_2)}{A_v [200 - (w_1 - w_2)]}, \text{ хв} \quad (4.95)$$

$$\tau = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2}, \text{ хв} \quad (4.96)$$

Для барабанних сушарок частота обертання барабану  $n = 1-8 \text{ хв}^{-1}$ .  
Приймаємо  $n = 4 \text{ хв}^{-1}$ .

Розраховуємо кут нахилу барабана:

$$\alpha' = \left[ 30L_b / (D_b n \tau) + 0,007 \omega_D \right] (180 / \pi), ^\circ \quad (4.97)$$

Для барабанних сушарок з підйимально-лопатевою насадкою коефіцієнт  $a = 1,2$  [4]. Беремо розрахований кут нахилу барабана  $\alpha' = 1,515^\circ$ .

Розраховуємо частоту обертів барабана:

$$n = \frac{L_b}{\tau D_b t g \left( \frac{\alpha \pi}{180} \right)}, \text{ хв}^{-1} \quad (4.98)$$

Приймаємо стандартну частоту обертів барабана  $n_{ст} = 6,4 \text{ хв}^{-1}$  [4].

Дійсна частота обертів (кутова швидкість) барабана не повинна відрізнятись від номінальної більш ніж на 10 %. Перевіряємо розбіжність

$$\Delta n = \left| \frac{n - n_{ст}}{n_{ст}} \right| \cdot 100 \% \quad (4.99)$$

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Перевіряємо кут нахилу барабана  $\alpha$ :

$$\alpha_1 = \left( \frac{L_{\sigma}}{2D_{\sigma}n_{cm}\tau} + 0,007w_D \right) \frac{180}{\pi}, ^\circ \quad (4.100)$$

Кут нахилу барабана не повинен відрізнятись від попередньо прийнятого більш ніж на 10 %.

$$\Delta\alpha = \left| \frac{\alpha - \alpha_1}{\alpha_1} \right| \cdot 100 \%, ^\circ \quad (4.101)$$

Приймаємо коефіцієнт  $\sigma = 0,053$ , що залежить від ступеня заповнення барабана  $\beta$ . Розраховуємо потужність, що витрачається на обертання рухомих частин сушарки:

$$N = 0,0013D_{\sigma}^3 L_{\sigma} \rho_m \sigma n_{cm}, \text{ кВт} \quad (4.102)$$

Таблиця з ідентифікаторами, блок-схема розрахунку, підстановка та обрахунок числових даних виконані в середовищі MathCad (див. додаток Ж).

Висновок: приймаємо стандартну потужність приводу  $N_{cm} = 10$  кВт та обираємо електродвигун типу АОЛ2-3-2 з максимальною частотою обертів валу  $n_{дв} = 3000$  об/хв [4].

#### 4.2.7 Розрахунок калорифера

Мета: розрахувати та вибрати калорифер.

Розрахунок здійснюється за методикою наведеною в [17].

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.15.

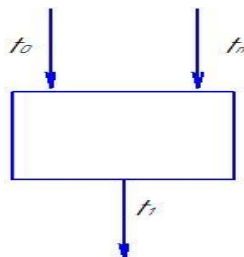


Рисунок 4.15 – Розрахункова схема калорифера

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Початкові дані:

Витрата тепла на нагрів повітря, кВт ( $Q_k$ )	190,87.
Початкова температура повітря, °C ( $t_0$ )	60.
Кінцева температура повітря, °C ( $t_1$ )	290.
Температура пари, °C ( $t_n$ )	300.
Масова витрата повітря, кг/(м <sup>2</sup> ·с) ( $\rho_w$ )	0,249.
Середня температура теплоносія:	

$$t_T = \frac{t_1 - t_0}{2} = 115 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт теплопередачі для пластинчатих калориферів:

$$K = 10(\rho_w)^{0,42} = 10 \cdot 0,249^{0,42} = 5,58 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{с)}. \quad (4.103)$$

Поверхня нагріву калорифера:

$$F = \frac{1,25Q_k}{K(t_n - t_T)} = \frac{1,25 \cdot 190,87 \cdot 10^3}{5,58(300 - 115)} = 198,23 \text{ м}^2. \quad (4.104)$$

Висновок: обрано два однакових калорифера КФБ-14 з загальною площею теплообміну 198.23 м<sup>2</sup> [16].

#### 4.2.8 Розрахунок циліндричної обичайки оболонки апарат на дію внутрішнього тиску

Метою розрахунку є знайти мінімальну розрахункову товщину стінки рубашки апарата яка задовольняє умові міцності при дії лише внутрішнього тиску та порівняти її з наявною товщиною стінки.

Вихідні дані:

розрахунковий тиск $P$ , МПа	1;
межа плинності матеріалу обичайки $\sigma_t$ , МПа	205;
внутрішній діаметр обичайки $D$ , м	1;
коефіцієнт міцності зварного шва $\varphi_p$	0,9;

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

допустиме напруження, МПа

178;

коефіцієнт запасу міцності  $n_t$

1,5.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.16.

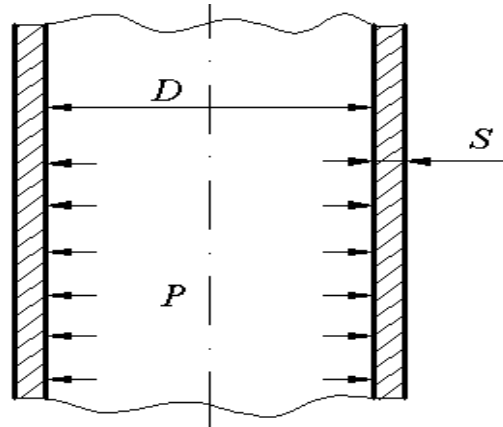


Рисунок 4.16 - Розрахункова схема апарата навантаженого внутрішнім тиском

Розрахунок циліндричної обичайки оболонки апарата на дію внутрішнього тиску ведемо за безмоментною теорією наведеною в літературі [17].

Розрахункова товщина стінки з умові міцності:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P} = \frac{1 \cdot 1}{2 \cdot 178 \cdot 0,9 - 1} = 15,474 \quad (4.105)$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії приймаємо рівним  $C_e = 0,5$ , додаток до мінусового відхилення  $C_2 = 0,8$  мм, технологічний додаток до розрахункової товщини  $C_3 = 0$ .

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні  $S'$ :

$$S' = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 15,474 + 0,5 + 0,8 + 0 = 16,742 \text{ мм.} \quad (4.106)$$

Приймаємо  $S = 18$  мм.

Перевірка умов застосування розрахункових формул

$$\frac{S + C}{D} = \frac{18 \cdot 10^{-3} + 1,3 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,00965 < 0,1 \quad (4.107)$$

$$S \geq \frac{D}{1000} + 2,5 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{1000} + 2,5 \cdot 10^{-3} = 0,0035 \text{ м.}$$

$$18 \cdot 10^{-3} \text{ м} > 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65



Умови застосування розрахункових формул виконуються.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск  $[p]$ .

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 178 \cdot 1 \cdot (18 \cdot 10^{-3} - 1,3 \cdot 10^{-3})}{1 + 18 \cdot 10^{-3} - 1,3 \cdot 10^{-3}} = 3,457 \text{ МПа} \quad (4.108)$$

Перевірка умови міцності

$$p \leq [p] \quad 1 \text{ МПа} \leq 3,457 \text{ МПа}$$

Висновок: Згідно з розрахунками, товщина стінки обирається 18 мм, при якій виконується умова. Умова міцності виконується.

#### 4.2.9 Розрахунок укріплення отворів

Мета розрахунку: визначити необхідність укріплення отворів і вид укріплення.

Розрахункова схема представлена на рисунку 4.17.

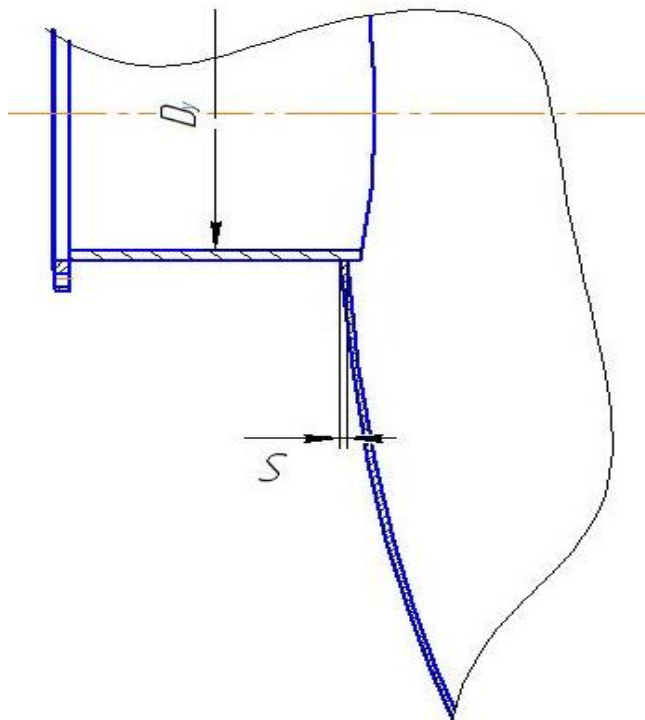


Рисунок 4.17– Розрахункова схема визначення необхідності укріплення отворів

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Вихідні дані:

діаметр штуцера, $d_t$ , м	0,5;
товщина стінки обичайки, $S$ , м	0,018;
розрахункова товщина стінки обичайки, $S_R$ , м	0,0155;
Сума всіх додатків до розрахункових товщин стінок, м	0,0013;
Діаметр обичайки, м	1.

Розрахунок проводимо згідно методики наведеної в [17].

Перевіряємо найбільший допустимий отвір в баранній сушарці

$$\begin{aligned}d_0 &= 2 \cdot \left[ \left( \frac{S - C}{S_R} \right) - 0,8 \right] \cdot \sqrt{D \cdot (S - C)} \\&= 2 \cdot \left[ \left( \frac{0,018 - 0,0013}{0,0155} \right) - 0,8 \right] \cdot \sqrt{1 \cdot (0,018 - 0,0013)} = 0,072 \\&\quad 0,072 \geq 0,5\end{aligned} \quad , [м] \quad (4.109)$$

Висновок: оскільки дана умова не виконується, то отвір у кришці під штуцер потрібно буде додатково укріплювати.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

## 5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

На сьогоднішній день розвиток техніки та науки надає відчутні нововведення у всі сфери технічного виробництва, суттєво змінюючи технологічні процеси та матеріали що використовуються, предмети та знаряддя праці. В свою чергу зміни технології та устаткування призводять до трансформації умов праці та трудового процесу в цілому. Для цього при розробці нової техніки, технологічних процесів, організації виробництва необхідно провести науковий аналіз можливих небезпечних та шкідливих виробничих факторів та розробити заходи і засоби, спрямовані на мінімізацію їх несприятливого впливу на працюючу людину [20].

В данній магістерській дисертації за темою «Розроблення центрифуги та барабанної сушарки для модернізації установки виробництва морської солі» розроблена технологічна схема виробництва морської солі. Обслуговуючий персонал – оператор, робоче місце якого знаходиться в тому ж приміщенні що й обладнання. Лінія виробництва солі розміщена в приміщенні довжиною 40м, шириною 15м, висотою 5м (3000 м<sup>3</sup>). На його робочому місці наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- повітря робочої зони;
- виробничий шум, вібрації;
- безпека ураження електричним струмом;
- безпека впливу елементів устаткування нагрітих до високих температур;
- надзвичайні ситуації;
- виробниче освітлення.

Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на робочому місці операторів.

### Повітря робочої зони

Виходячи з прийнятої технологічної схеми маємо приміщення без надлишкового тепловиділення, тобто  $Q < 21$  (ккал/год м<sup>3</sup>) або  $Q < 23,27$

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

(Дж/с м<sup>3</sup>). Робота операторів відноситься до важкої фізичної роботи через те, що установка розташована в умовах шуму та пилу. Енерговитрати за таких умов праці складають більш 287 Дж/с. У зв'язку з цим передбачено можливість відпочинку персоналу в закритому приміщенні. Параметри повітря робочої зони представлені в таблиці 5.1, в якій вказані також оптимальні умови [20].

Таблиця 5.1 – Фактичні параметри повітря робочої зони

Сезон року	Категорія робіт	Температура °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний період року	Легка II	19-20	40-65	0,2
Теплий період року	Легка II	20-25	40-70	0,2

Забезпечення параметрів здійснюється в зимовий час за допомогою водяного опалення з температурою теплоносія 65-85 °С, а в теплий час року вентиляцією.

При проектуванні штучної (механічної) загальнообмінної вентиляції, яка призначена для вилучення з приміщення надлишків тепла, вологи та інших шкідливих виділень необхідно приймати розрахункові параметри згідно з СНиП2.04.05-86 [20].

Для місцевої вентиляції обрано вентилятор МЦ-5 (продуктивність  $L_{\min}=600\text{м}^3/\text{год}$ ), кількість обертів  $n=1410\text{ об/хв}$ ; загально-обмінна вентиляція забезпечується вентилятором МЦ-6,  $n=1410\text{ об/хв}$  (продуктивність  $L_{\min}=800\text{м}^3/\text{год}$ ), кратність повітрообміну  $k=3$ .

Розрахунок механічної вентиляції включає визначення найбільш раціонального способу вилучення або попередження утворення токсичних, пожежо- чи вибухонебезпечних концентрацій пароповітряних сумішей (загальнообмінні або місцеві вентиляційні установки і системи); визначення необхідної кількості повітря для обмінної вентиляції, виходячи із відомої кратності

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

повітрообміну в приміщенні, кількості шкідливих речовин, які вилучаються з приміщення, або надлишкового тепла. Фактичні концентрації відповідають ГОСТ 12.1.005-98 [20].

### **Небезпека враження електричним струмом**

Приміщення хімічної промисловості, за класифікацією ПУЕ (правила установки електрообладнання) відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

Для живлення елементів установки використовується трифазна напруга 220/380 В з частотою 50 Гц, (з ізольованою нейтраллю).

Причини ураження обслуговуючого персоналу можуть бути такими:

- старіння ізоляції і втрата нею ізоляційних властивостей;
- помилкове включення установки;
- замикання на корпусі;
- випадки дотику людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування [20].

Заходи та засоби від враження електричним струмом

- Всі провідники електричного струму ізольовані.
- Електроустановки заземлені.
- Рубильники включення установки знаходяться у спеціальній шафі;
- Передбачити спеціальне захисне відключення електродвигунів у випадку улучення людини напругою;
- Провода проводити в захисних металевих рукавах;
- На панель керування вивести сигнальні лампи індикації включення електроустаткування;
- Вузли установки, що можуть виявитися під напругою, мають зажими для підключення заземлення;
- Біля затисків заземлення нанести незмивні червоні знаки "Земля".

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		70

- Електрична міцність ізоляції перевіряється на випробувальну напругу 200 В частотою 50 Гц протягом 1 хвилини.

- Опір ізоляції повинен бути не менше 0,5 МОм.

- Електрична апаратура, яка встановлена всередині приміщень, має ступінь захисту IP-54.

- Ізоляція провідників вимірюється мегаомметром.

- Напруга вимірюється вольтметром. Ступінь захисту електричної апаратури в середині приміщень контролюється.

В аварійному режимі захисне заземлення  $R_{\text{заз}} = 3,8$  Ом. Принцип захисту захисного заземлення у випадку мережі з ізолюваною нейтраллю на рисунку 5.1

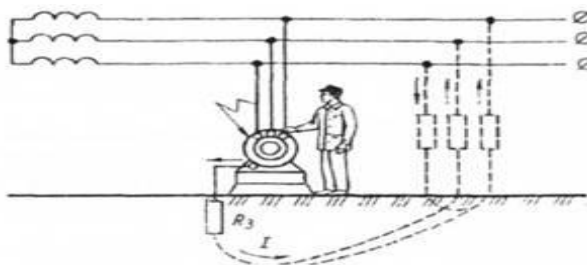


Рисунок 5.1 - Замикання на приладі, підключеного до мережі з ізолюваною нейтраллю.

Заземлення установки виконано.

Біля затисків заземлення нанесені незмивні червоні знаки “Земля”.

При замиканні на корпус:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi}}{z_0 + z}, \text{ А}$$

де,  $z_0$  – опір нульового провідника, він повинен бути  $z_0 \leq 50\% z$

$z$  – опір других проводів, який дорівнює 0,1 – 0,2 Ом, приймаємо 0,2 Ом.

Щоб спрацювало заземлення необхідно щоб  $I_{\text{кз}} \geq 3 \cdot I_{\text{ном}}$ , приймаємо  $I_{\text{ном}} = 100$  А, або спрацює захист МТЗ при  $I_{\text{кз}} = 1,25 - 1,4 \cdot I_{\text{ном}}$ , в залежності від виду МТЗ.

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi}}{z_0 + z} = \frac{230}{0,4 + 0,2} = 384 \text{ А.}$$

Сила струму відповідає ГОСТ 12.1.030-89.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

В аварійному режимі приміняється захисне заземлення із загальним опором заземлюючої системи  $R_{\text{заз}} \leq 3,8$  Ом, що відповідає ГОСТ 12.1.030-82 [20].

Небезпечними елементами в установці є:

- поверхні двигунів.
- поверхні барабанної сушарки, центрифуги;

Заходи та засоби від враження електричним струмом та високими температурами:

- Для уникання травм, нагріті поверхні покриваються шаром ізоляції з мінеральної вати марка 400.
- Зовнішня температура ізоляції не перевищує  $45^{\circ}\text{C}$  що відповідає. Температура поверхні теплоізоляції контролюється термометром.

### Виробниче освітлення

У виробничих приміщеннях при виконанні робіт 1-4 розрядів використовується, як правило, комбінована система, освітлення, оскільки досягнення необхідної освітленості при загальній системі освітлення вимагає значних витрат електричної енергії і є недоцільним. З цієї ж точки зору слід надавати перевагу локалізованому, загальному освітленню, в тому числі і в системі комбінованого, витримуючи при цьому допустимі норми нерівномірності освітлення. Нормативна освітленість  $E_n=300$  лк [20].

Встановлені світильники з лампами ДЛР-400, світловим потоком  $\Phi=19000$  лм (для даного приміщення три ряди). Загальна кількість ламп в приміщенні 48.

Фактична освітленість  $E_f=320$ .

### Вібрації, виробничий шум

Вібрацію утворюють вентилятори та насоси. Рівень вібрації у джерелі  $L_{\text{віб}}=100$  дБ. Величина загальної технологічної вібрації на постійних робочих

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

місцях при працюючій установці у виробничих приміщеннях не перевищує норм, встановлених.

Причиною появи шуму є барабана сушарка, що обертається, двигун, а також вентилятори. Рівень джерел шуму  $L=105$  дБА.

В наш час експлуатація переважної більшості технологічного обладнання, енергетичних установок, машин та механізмів, пов'язана з виникненням шумів та вібрації різної частоти та інтенсивності, котрі справляють несприятливий вплив на організм людини [20].

В якості колективних засобів для зниження рівнів відбитого звуку, використовуються звукопоглинальні плити «Вініпор», напівжорсткі, товщиною 50 мм з повітряним прошарком 150 мм. Загальна площа облицювання складає 560 м<sup>2</sup>. Як індивідуальні засоби для захисту від шуму прийнято протишумові навушники ПШН-Б, виробництва КП «Київський виробничий комбінат ТСО України». Призначені для захисту органів слуху від дії середньо- та високочастотного шуму з рівнем до 115 дБа.

Фактичні рівні шуму відповідають  $L=60$  дБа.

### Надзвичайні ситуації

Основною надзвичайною ситуацією, яка може виникнути, це небезпека вибуху при недбалому зберіганні чи використанні балонів із стисненими, зрідженими або розчиненими газами (пропан, аргон тощо). Дані балони використовуються при монтажних роботах, тому вони є невід'ємною частиною виробництва [20].

Основні причини виникнення:

- Утримання у несправному стані та створення небезпечних умов їх експлуатації;
- Зберігання в недозволенному місті;
- Спільне зберігання різних газів, а також зберігання газів з іншими рідинами;

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73



Безпека під час зберігання:

– Для зберігання балонів застосовуються спеціально обладнані сухі приміщення висотою не менше 3,3 м;

– Стіни, перекриття й перегородки повинні бути виконані з негорючих матеріалів не нижче II ступеня вогнестійкості. Вікна та двері приміщення повинні відкриватися назовні. Приміщення повинно бути розділене негорючими стінами на відсіки.

– Освітлювальні прилади складів для балонів з горючими газами повинні відповідати нормам, існуючим для вибухонебезпечних приміщень.

– Спільне зберігання різних газів, а також зберігання газів з іншими рідинами не допускається.

Вимоги безпеки при виявленні витікання газу, наявності тріщин на балонах, несправності вентиля і в інших аварійних випадках:

– При виявленні аварійних випадках необхідно вжити заходів щодо недопущення сторонніх осіб в небезпечну зону.

– Необхідно доповісти керівнику робіт (який є відповідальним за безпечну експлуатацію балонів) про те, що трапилося і діяти за його розпорядженням.

– У разі наявності потерпілих надати їм домедичну допомогу, викликати швидку допомогу.

Розрахунок прогнозування та оцінювання інженерної та пожежної обстановки під час аварії на вибухонебезпечних об'єктах

Вихідні дані:

Відстань від цеху до міста аварії (вибуху) – 900 м

Маса пропану – 200 т

Характеристики елементів цеху:

будівля – зі збірного залізо-бетону

верстати – важкі

кабельні лінії – наземні

контрольно-виміррювальна апаратура – наявна

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

границі вогнетривкості несучих стін – 2,5 год

границі вогнетривкості перегородок – 0,3 год

Категорія виробництва з пожежної безпеки – В

Щільність забудови об'єкту – 25%

Розрахункова частина:

Зона I:  $r_1 = 140$  м;

Зона II:  $r_2 = 230$  м;

Висновок: об'єкт опиниться за межами цих зон, тобто у зоні повітряної ударної хвилі (зона III)

$$\Delta P_{\phi} = \frac{272}{\sqrt{1 + 7,41 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{L}{Q^3} - 1}} = 29,12 \text{ кПа}$$

Ступінь руйнування будівлі – середня

Характеристика руйнувань будівлі:

Руйнування даху, легких внутрішніх перегородок, в капітальних стінах з'являються тріщини

Ступінь руйнування верстатів – слабкі

Характеристика руйнувань промислового обладнання:

Пошкодження окремих елементів обладнання, важелів управління, вимірювальних приладів

Ступінь руйнування контрольно-вимірювальної апаратури – сильні

Ступінь руйнування кабельних ліній – слабкі

Ступінь ураження людей – від прямої дії - слабкі

Характеристика уражень людей:

Ступінь вогнестійкості – III ступінь вогнестійкості

Очікувана пожежна обстановка – для виробництва категорії пожежної небезпеки В, ступеня вогнестійкості будівель – III, при надмірному тиску 29 кПа і щільності забудови більше 25% можна очікувати в перші 30 хвилин окремі пожежі з переростанням за 1...2 год в суцільну.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Безпечна кількість вибухової речовини - менше 40 т.

Визначаємо безпечну кількість пропану для уникнення будь-яких руйнувань, тобто контрольно- вимірювальна апаратура вціліє, якщо кількість пропану буде менше 20 т.

Зони вибуху зображені на рисунку 5.2.

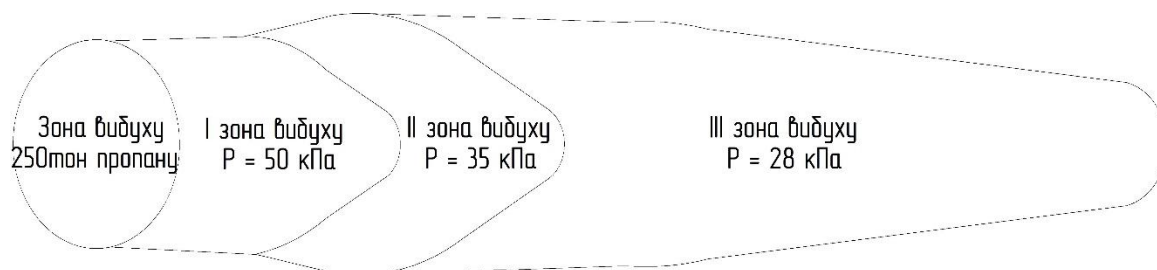


Рисунок 5.2 - Зони вибуху

Висновки: На відстані 900 м від цеху стався вибух пропану, що призвело до руйнувань будівлі, елементів цеху, постраждали люди.

Серед рекомендацій, спрямованих на зменшення заподіяної шкоди та уражень людей, можуть бути такі:

- укріпити будівлю установленням додаткових колон, ферм, підкосів;
  - верстати надійно закріпити на фундаменті, установити захисні навіси або ковпаки;
  - кабельні лінії прокласти під землею;
  - створити 50% запас контрольно-вимірювальної апаратури;
  - установити на вікнах захисні металеві сітки, щоб розбите скло не потрапляло в приміщення цеху;
  - установити і регулярно контролювати стан вогнегасників та інших протипожежних систем;
- порушити питання перед відповідними органами про зменшення запасу вибухонебезпечної речовини до безпечної кількості.

## Відповідність розроблюваного апарата до вимог охорони праці

- Робота установки допускається при наявності в цеху вентиляції і пристроїв для видалення і нейтралізації шкідливих речовин, що виділяються при переробці вихідної сировини.

- Перед початком роботи установки необхідно перевірити наявність усіх заземлень.

- Шафа керування приводом закрыта.

- Температура нагрівання зовнішніх поверхонь корпусу, доступних дотику з людиною не більше 45<sup>0</sup>С.

- Підходи до електроприводів, пульта і шаф вільні.

- Працювати необхідно в спецодязі.

- На випадок можливого самозаймання необхідно мати засоби гасіння.

- Рівень шуму, вимірюваний при роботі установки, не перевищує 75 Дб на частоті 1000 Гц.

- Доторкатися до розплаву термопласту можливо тільки у рукавицях типу.

Під час роботи лінії категорично заборонено:

- проводити ремонтні роботи;
- опускати руки в бункер-дозатор;
- знімати огороження з обертових частин.

Відповідно до закону про охорону праці і національної програми по охороні праці, виробничі будівлі, споруди, устаткування, технологічні процеси відповідають вимогам, що забезпечують безпечні умови праці. Проектовані машини й механізми відповідають вимогам по техніці безпеки і виробничої санітарії. Жоден зразок нової машини чи механізму не може бути переданий у серійне виробництво, якщо він не відповідає вимогам охорони праці. Адміністрації підприємств зобов'язані забезпечити належним технологічним устаткуванням усі робочі місця і створити на них умови роботи відповідно правилам по охороні праці.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Даний розділ магістерської дисертації ставить своєю задачею проаналізувати й розробити наступні питання, що виникають при проектуванні лінії по виробництву солі:

- електробезпеку технологічних процесів і устаткування;
- санітарно-гігієнічні заходи;
- пожежна безпека.

### Схема евакуації з приміщення

У випадку будь-якої небезпеки створено 2 еваковиходи з приміщення, схема евакуації при надзвичайній ситуації зображена на рисунку 5.3.

При цьому відстань від робочого місця до дверей 1,5 м, відстань від робочого кабінету до еваковиходу №1 15 м, до еваковиходу №2 5м.

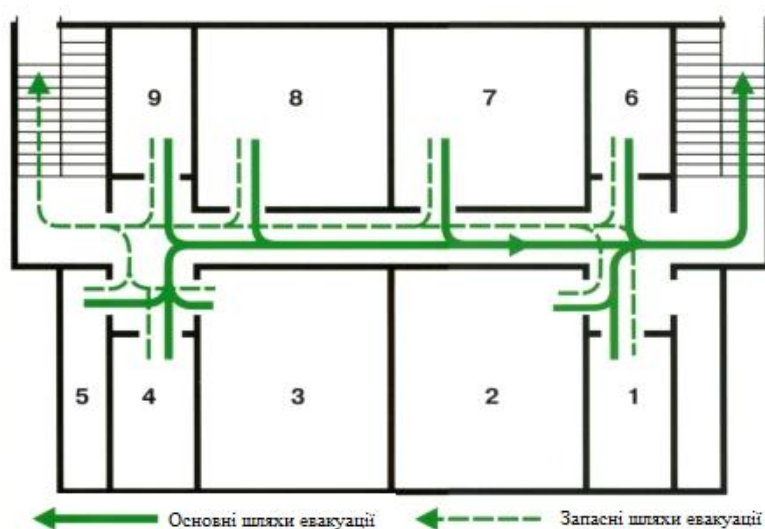


Рисунок 5.3 - Схема евакуації з приміщення

Схема евакуації під час пожежі чи інших випадків задовольняє умови, згідно з СНиП 2.09.02-85, що підтверджується схемою, яка надана вище [20].

## 6 Рекомендації з монтажу і експлуатації лінії

### Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації барабанної сушарки

Для монтажу барабанних сушарок рекомендується використовувати метод ковзання. Апарат піднімається за монтажні пристрої, що кріпляться на корпусі вище центру тяжіння. Нижня частина апарата, яку кладуть на візок, при підйомі протягується лебідкою до фундаменту, так, щоб апарат розташувався на фундамент при досягненні рівного положення. Вантажопідйомність крана повинна бути не меншою за масу апараті. В деяких випадках допустимо апарат підняти на висоту 0.2 м вище анкерних болтів фундаменту й повернути стрілу крана до положення, при якому апарат розташовується на одному рівні з фундаментом та його болтів. Після цього апарат опускають на фундамент, вирівнюють та закріплюють його болтами. Після установки апарата необхідно провести перевірку по відхиленням від проектних осей та міток у вертикальному та горизонтальному напрямках [21].

Допустимі відхилення по головним осям апарата повинні знаходитися в межах  $\pm 20$  мм. Висотна відмітка уже змонтованого апарата не повинна перевищувати відхилення  $\pm 10$  мм. Допустиме відхилення апарата від осі вертикалі 2 мм на 1 м висоти, але не перевищувати 35 мм на весь апарат. Перевірка правильності установки має проводитись з допомогою рівнеміра, теодоліта й відвіса.

При монтажі окремих частин апаратів потрібно звертати увагу на розташування фланцевих з'єднань та їх відхилення від проектних відміток. Особливість монтажу конструкційних деталей та агрегатів заключається в тому, щоб при монтажі апарата співпадали всі роз'ємні з'єднання. Після закінчення монтажно-збиральних робіт апаратів, необхідно неодмінно пройти випробування. Спочатку потрібно провести роботи, пов'язані з оглядом та перевіркою стану всіх частин й вузлів апарата. Насамперед необхідно звернути особливу увагу на присутність в конструкції: кришок, заглушок, приладів, болтів, прокладок та інших

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

деталей, які в першу чергу забезпечують герметичність апарата та всієї системи в цілому.

Програма випробувань включає в себе: гідравлічне та пневматичне випробування апарата на тиск, що вказаний на кресленні. При випробуваннях виявляють герметичність та надійність роботи вентилів, кранів, клапанів та роз'ємних з'єднань [21].

Підготовка апарата до експлуатації являє собою перевірку тиску в апараті та в його трубопроводах витрат теплоносіїв, температур теплоносіїв на вході та виході з апарату. Слід звернути увагу на легкість та точність управління апарата. Результати випробувань показують дефекти та недоліки, які вписують в акт випробувань на конкретний апарат. Апарат вважається прийнятим в експлуатацію після підписання акта випробувань з боку монтажною організацією та замовника.

Вимоги до експлуатації. Для управління роботою і забезпечення нормальних умов експлуатації апарат споряджений: приборами для вимірювання тиску і температури середовища; запобігачами пристроями від підвищення допустимої температури; запірною трубою арматурою на підводящих і відводящих трубопроводах; показниками рівня рідини.

### **Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації центрифуги**

З механічної точки зору центрифуги зі шнековим вивантаженням осаду є цілком надійними машинами, але для забезпечення їхньої нормальної роботи необхідно як при виготовленні, так і при експлуатації дотримувати деякі умови [21].

У центрифугах цього типу внаслідок деякої різниці у швидкостях обертання шнека і ротора динамічна невідновженість останніх періодично складається, унаслідок чого вібрація центрифуги виникає під дією сумарної невідновженості ротора і шнека.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

При спостереженні за роботою центрифуг (у тому числі і добре збалансованих) завжди легко можна визначити на слух відносне число оборотів шнека по наростанню і загасанню вібрацій центрифуги.

Через наявність великих обертових мас, невірноваженість яких періодично складається, необхідно при виготовленні шнекових центрифуг забезпечувати висока якість балансування.

Однак навіть добре збалансовані центрифуги можуть попадати в режим неприпустимої вібрації.

Найбільш частою причиною виникнення вібрації добре збалансованих центрифуг є незадовільний стан фундаменту.

Для запобігання можливості появи надмірних вібрацій фундамент під центрифугу повинний виготовлятися досить масивним і міцним. Розмір фундаменту залежить від ваги та габаритів центрифуги. Найкраще центрифуги цього типу спирати на бетонні стовпи, розташовані на першому поверсі будинку. Підстави стовпів повинні знаходитися нижче поверхні землі і спиратися на ґрунт.

Незважаючи на те, що умови зведення фундаменту на першому поверсі є більш легшими й у зв'язку з цим переважно встановлювати центрифугу саме на першому поверсі, усе-таки по технологічних розуміннях центрифуги іноді розміщують на верхніх поверхах будинків. В останньому випадку важливо щоб на верхніх поверхах підлога і балки були досить міцними для сприйняття ваги установки, причому мінімальна вага, на який вони повинні бути розраховані, відповідає приблизно вчетверо ваги всього устаткування установки.

Центрифуга звичайно ставиться на бетонну подушку товщиною не менш 150 мм, розташовану на перекритті. Іноді балки перекриття, на якому встановлюється центрифуга, облицьовуються бетоном, що поглинає вібрацію.

Часто в добре збалансованої і встановленої на міцному фундаменті центрифуги через деякий проміжок часу поступово з'являється дисбаланс, що може виникнути внаслідок ряду причин, з яких найбільше часто зустрічається скупчення осаду в непрацюючих живильних відділеннях шнека (у цьому випадку потрібна

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81



промивання осаду) і великий зазор між цапфами шнека і втулками, на які спирається шнек. Зазор може з'явитися як у новій центрифугі, так і такої, що пропрацювала тривалий період часу. У першому випадку причиною появи зазору є погрішність чи виготовлення неправильна посадка. В умовах експлуатації це буває рідко, тому що звичайно такий недолік усувається заводом-виготовлювачем після перших же спробних іспитів на заводському стенді. Другий випадок, тобто поява великого зазору в процесі експлуатації, зустрічається значно частіше і виникає внаслідок поступового зносу втулки підшипника шнека. Після заміни втулки, що зносилася, шнекова відстійна центрифуга починає працювати спокійно і без вібрацій.

Для того щоб максимально продовжити термін служби центрифуги, необхідно піддавати її періодичному огляду і не рідше двох раз на рік розбирати для ретельної перевірки окремих вузлів. При обробці деяких продуктів, не значні перевантаження центрифуги й інтенсивного зносу поверхонь, що стикаються з осадом, період між повними розбираннями центрифуги для огляду може бути подовжений до року, тоді як для інших продуктів, може знадобитися демонтаж кожні два чи три місяці. Особливу увагу при огляді варто приділяти редуктору, підшипникам і виткам шнека.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

## 7 Рівень стандартизації та уніфікації

При конструюванні машин та апаратів для хімічної і нафтопереробної промисловості варто максимально використовувати стандартні, нормалізовані й уніфіковані конструктивні елементи, деталі та вузли.

Наявність достатньо високого рівня стандартизації та уніфікації вузлів і деталей апарата значно знижує вартість його виготовлення, зменшує витрати по ремонту, експлуатації і при необхідності переходу на нові режими роботи.

### Рівень стандартизації та уніфікації центрифуги

Загальна кількість деталей  $N = 734$ , з них стандартних  $n_c = 653$ , запозичених  $n_z = 62$ .

Коефіцієнт стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{653}{734} = 0,89.$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} = \frac{653 + 62}{734} = 0,97.$$

### Рівень стандартизації та уніфікації барабанної сушарки

Загальна кількість деталей  $N = 1467$ , з них стандартних  $n_c = 1284$ , запозичених  $n_z = 78$ .

Коефіцієнт стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{1284}{1467} = 0,76.$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} = \frac{1284 + 78}{1467} = 0,92.$$

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

## 8 Розроблення стартап-проекту

### 8.1 Опис ідеї проекту

На сьогоднішній день використання ліків та підсилювачів смаку зростає. Стартап по провадженню нових технологій у фармацевтичні та харчові виробництва. Основна ідея наведено у таблиці 8.1[24].

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проект

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виготовлення барабанних сушарок з допоміжною трубою для подачі додаткового сушильного агенту	Інженерні послуги з модернізації сушарок у фармацевтичній та харчовій галузях	Користувач отримує модернізацію або розробку обладнання, яке має менші показники енерговитрат та високої якості.
	Дослідження та аналіз модернізації сушарок у фармацевтичній та харчовій галузях	Користувач може перевіряти роботу обладнання до виготовлення різних видів продуктів.

Такий підхід надає повний спектр послуг користувачу.

Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначено перелік характеристик ідеї та техніко-економічних властивостей;
- визначено попереднє коло конкурентів, що вже існують на ринку, та проведено збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів;

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

- проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (таблиця 8.2) [25].

Таблиця 8.1 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Характеристики ідеї	(потенційні) послуги конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Energy Saving Solutions	Wuxi Lanxing Pressure Vessel Co.,	SCHULZ - TECHNOLOGY			
Інженерні послуги з модернізації сушарок у фармацевтичній та харчовій галузях	має	має	має	має	-	-	+ Наш проект в порівнянні з іншими має більший спектр послуг
Дослідження та аналіз модернізації сушарок у фармацевтичній та харчовій галузях	має	немає	має	немає	-	-	+ Клієнт може сам впевнитись в роботі обладнання

Характеристики інженерні послуги та дослідження нашого проекту є сильною стороною. Всі конкуренти надають інженерні послуги, але кожен конкурент надає певні послуги, наш проект включає всі послуги, що надають інші, враховуючи специфіку галузі, наш проект надає інженерні послуги по модернізації

та виготовленню сушарок, а також доставка та встановлення апарата по бажанню клієнта. Клієнт може сам впевнитись у роботі свого обладнання, він може комплексно перевіряти його. Інший конкурент сам перевіряє своє обладнання і вправляє клієнтові. Нейтральною стороною є фінансова звітність, тому що є ще фірми які можуть контролювати фінансову звітність по своєму проекті. Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційних послуг, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності [25].

## 8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит способу, за допомогою якого можна реалізувати ідею проекту та наведено його у таблиці 8.3.

Таблиця 8.2 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Виготовлення барабанних сушарок з допоміжною трубою для подачі додаткового сушильного агенту	Створення веб сайту та оренда офісу з комп'ютерною технікою для роботи персоналу. Придбання програмного забезпечення для роботи.	Дані технології існують. В розробці/добробці їх немає необхідності, оскільки ми будемо залучати вже освічених фахівців, що вже мають	Дані технології доступні.

	Наймання освідчених фахівців.	спеціальну інженерну освіту	
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: є можливою			

За результатами аналізу видно, що можливості технологічної реалізації проекту, та методи реалізації є можливими.

### 8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Основні оператори ринку:

Основними операторами ринку є державні та приватні конструкторські відділи, які виконують роботу тільки на власні підприємствах та організації, що виготовляють барабанні сушарки з допоміжною трубою для подачі додаткового сушильного агенту.

Таблиця 8.4 – Попередня характеристика потенційного ринку по модернізації сушарки

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од	5
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	120 тис.грн/ум.од
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Масштабність
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ EN 1458-1:2015 (EN 1458-1:2011, IDT),ГОСТ 28717-90

Продовження табл. 8.4

Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	57%
---	-----

За результатами аналізу таблиці 8.4 можна зробити висновок що є можливість входження на ринок.

Економічні та соціальні тенденції ринку:

На даний момент ринок знаходиться на стадії введення. Вхід України до Європейського Союзу вимагає збільшення конкурентоспроможності промисловості та введення нових інноваційних технологій та інвестицій.

Для опису ринку інжинірингу було використано дослідження по ємності ринку в Україні, млн. дол. за рік рисунок 8.1.

Аналіз вказує що наразі послуги починають приймати тенденцію зростання, хоча в 2014 році почалася тенденція спадання, пов'язана з військовими діями на сході[ 29].

Економіка України знаходиться на етапі виходу з кризи, внаслідок чого ринку розвивається повільно. Але через деякий час ринок може почати стрімко розвиватись, оскільки Україна вступила в зону вільної торгівлі з Європейським союзом. Саме із-за цього на ринку України виникає необхідність стандартизувати продукцію, що виробляється згідно вимог ЄС.

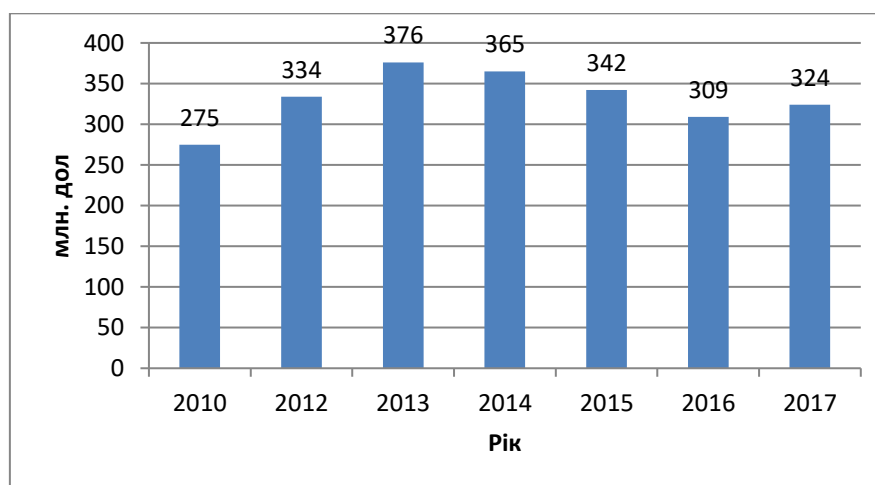


Рисунок 8.1 – Виробництво барабанних сушарок в Україні

Споживачі даного ринку розміщені неоднорідно по світу. Найбільше споживачів знаходиться в країнах, що розвиваються. Саме тому ринок інжинірингу є перспективним.

Конкуренція на даному ринку є невеликою, оскільки даний вид діяльності є новим. Раніше більша частина підприємств мали власні відділи, що займалися даним видом діяльності, а саме конструкторські бюро, відділи постачання та продажу. Цей проект передбачає співпрацю з клієнтом згідно його вимог, з захистом інтелектуальної власності клієнта. Також ми пропонуємо клієнту власні розробки, модернізації та інновації за вигідними умовами.

Споживча поведінка клієнтів має велике значення для старту проекту, оскільки від репутації нашої компанії залежить довіра потенційних покупців.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 8.5).

Таблиця 8.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба в інноваційних покращень, більш економічних та високоефективних барабанних сушарок	Харчові, фармацевтичні компанії та заводи по виробництву морської солі.	Необхідність виготовлення барабанних сушарок у відповідності до норм та стандартів ГОСТ 28717-90	-відповідність до стандартів ГОСТ 28717-90, -швидкість модернізації та виготовлення барабанних сушарок, -доступність цін.



Проаналізуємо докладно фактори маркетингового середовища (табл. 8.6-8.11), на основі яких виділимо фактори загроз (табл.. 8.12) і фактори можливостей (8.13).

Таблиця 8.6 - Підсумкова таблиця факторів політико-правового середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
1	2	3	4
Закони України про правовий захист підприємства	Захист майна безпека праці, та інтелектуальної власності	Зміна законодавства України в негативну сторону	Вчасна оплата податків
Закони України про приватну власність	Захист інтересів	Несправедливе законодавство	Захист від недобросовісних конкурентів
1	2	3	4
Закони України про приватну власність	Захист інтересів	Несправедливе законодавство	Захист від недобросовісних конкурентів
Відкритість європейських ринків	Нові клієнти в Європі та світі	Не відповідність законів	Знання міжнародного законодавства та відмова до співпраці в країнах де можуть бути несправедливе правове забезпечення
Інтелектуальна власність та закони про захист інтелектуальної власності	Захист власних розробок	Викрадення та копіювання ідей	Наймання спеціаліста з захисту інтелектуальної власності Патентування. Охорона приміщення

Таблиця 8.7 - Підсумкова таблиця факторів економічного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
1	2	3	4
Зміна вартості матеріалів для виготовлення барабанних сушарок	Нові проекти	Зміна вартості проектів	Створення нових проектів з мінімальним застосуванням дорогих матеріалів та їх заміна на дешевші
Нестабільна економічна ситуація (кризи)	Докази важливості нашої діяльності.	Не зацікавленість багатьох клієнтів у співпраці та розвитку	Діяльність на покращення економічної ситуації в Україні та світі
Збільшення цін на енергоресурси	Створення нових проектів енергозбереження	Не хватка коштів на оплату енергозабезпечення діяльності підприємства	Збільшити рентабельність на енергоаудит та обрати курс на створення енергоефективних виробництв
Зменшення кількості промислових підприємств через ситуацію на Сході України	Створення нових підприємств	Руйнування підприємств без подальшого відновлення	Заохочувати якомога більше клієнтів для співпраці, розвивати та покращувати наші підприємства

Таблиця 8.8 - Підсумкова таблиця факторів науково-технічного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Створення нових тенденцій	Створення самому нових тенденцій	Втрата актуальності власних розробок	Пошук та моніторинг актуальних тенденцій в обраній та суміжних сферах
Відставання науки та техніки в галузях виробництва від провідних країн світу	Створення власних технологій.	Забезпечити конкуренцію в даній галузі інколи не можливо	Спроба зацікавити іноземних інвесторів в актуальності проекту

Таблиця 8.9 - Підсумкова таблиця факторів природного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Аварії техногенного походження	Проекти відновлення	Руйнування інфраструктур и	Проекти по застосуванню інновацій в будівництві

Таблиця 8.10 - Підсумкова таблиця впливу конкурентів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	

Продовження табл 8.10

Конкуренто спроможність	Виграш в конкуренції	Програш в конкуренції	Постійний пошук способів підвищення конкуренції
Вартість модернізації барабанної сушарки	Виграш в конкуренції	Програш в конкуренції	Пошук способів зниження вартості модернізації барабанної сушарки
Якість модернізації барабанної сушарки	Виграш в конкуренції	Програш в конкуренції	Пошук способів підвищення якості модернізації барабанної сушарки

Таблиця 8.11 - Підсумкова таблиця впливу постачальників

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можлив ості	Загрози	
Вартість модернізації барабанної сушарки	Збільшен ня доходу	Втрата доходу	Створення вигідних умов для обох сторін
Якість модернізації барабанної сушарки	Збільшен ня іміджу	Зниженн я іміджу	Забезпечення якості постачання

На основі проведеного аналізу ринкового середовища: складаємо таблиці найбільш значимих факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (таблиці №№ 8.12-8.13). Фактори в таблиці подано в порядку зменшення значущості [30].

Таблиця 8.12 - Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	2	3
Аварії техногенного походження	Руйнування інфраструктури.	Облаштування захистом від аварій, проведення інструктажу з техніки безпеки.
Економічна криза	Неможливість модернізації та переобладнання	Зміна ціни на продукт
Науково-технічні: Невідповідність нашої продукції науково-технічному розвитку галузі	Зниження зацікавленості клієнтів до компанії	Пошук та моніторинг актуальних тенденцій в обраній та суміжних сферах діяльності

Таблиця 8.13 - Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Науково-технічні: Сворення нових тенденцій з залученням молодих вчених	Залучення молодих та перспективних кадрів	Розробка нового обладнання та конструкцій
Зміна ціни на робочі матеріали для модернізації	Зміна ціни при виборі аналогів дорогих матеріалів	Встановлення своєї ціни на обладнання
Вихід на закордонний ринок	Нові клієнти в Європі та світі	Розробка нового обладнання

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 8.14).

Таблиця 8.14 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	2	3
1. Тип конкуренції монополістична	Товар кожної фірми є недосконалим замінником товару, який реалізують інші фірми	Компанія робить ставку на основні відмінності своєї продукції
2. За рівнем конкурентної боротьби національний	Іноземні компанії не конкурують з національними	Вихід на національний ринок. Охоплювати більшу кількість національних клієнтів
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Товари замінники відрізняються типом, наповненням	Надання покращеного товару
4. Конкуренція за видами товарів товарно-видова	Клієнт вибирає кращу продукцію за властивостями або за вдоволення своїх потреб	Просування та демонстрація товару, його переваг з урахування потреб клієнта
5. За характером конкурентних переваг нецінова	Диференціація ціни, надійність	Спостереження за продукцією на ринку. Регулювання якості товару
6. За інтенсивністю - марочна	Підвищення каналів збуту, створення власного імені	Реклама в інтернеті. Збільшення ділових контактів

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (таблиця 8.15).

Таблиця 8.15 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Підприємства які займаються аутсорсингом промислових підприємств	Конкурентом можуть стати студенти технічних вузів або схожі підприємства-новатори	Постачальники мають вплив на прям продаж товарів, але на надання послуг вони не впливають	Цінова чутливість покупців. Прагнення нових технологій.	На даний момент аналогів майже немає
Висновки:	Їх перевага це досвід та відоме ім'я. За рахунок іновацій, спілкування з клієнтом надає змогу отримати клієнтів	Існує можливість виходу на ринок, а з цим існує можливість зустріти схожі підприємства-новатори	Від постачальника набуде залежність вартість комплектуючі. Але в свою чергу є низка можливих постачальників	Ціна та якість, співвідношення має бути співмірним	Даний пункт є важливим для підприємства, тому що надається спектр послуг

На основі аналізу конкуренції, проведеного в (таблиця 8.15), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 8.3), вимог споживачів до товару (таблиця 8.5) та факторів маркетингового середовища (таблиця № 8.12-8.13)

визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за таблиця. 8.16 [31].

Таблиця 8.16 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
Якість	Якість гарантується, адже якість це лице підприємства
Ціна	Ціна не повинна дуже відрізнятися від собівартості сушарки, адже у іншому випадку клієнт купить сушарку у конкурента з меншою ціною
Надійність	Виготовлення сушарки з високоякісних та корозійностійких матеріалів.
Швидкість	Надання послуг в короткі терміни, клієнту не потрібно чекати місяць на сушарку
Комплексний підхід	Надання не тільки розробки та модернізації, а також інших послуг( доставки, установки, налаштування)

За визначеними факторами конкурентоспроможності (таблиця 8.16) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 8.17).

Таблиця 8.17 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні проєктом						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Ціна	11		◇	△	□			



Продовження табл 8.17

Якість	12		□	◇	△			
Надійність	10		△	□	◇			
Швидкість	14			□	△	◇		
Комплексний підхід	9			△	□ ◇			

□ – ess.biz.ua

△ – en.lanxingpv.cn

◇ –schulz-tech.com.ua

Сильною стороною нашого проекту є договірна ціна, надійність, та комплексний підхід до кожного клієнта. Слабкою стороною може стати швидкість.

Таблиця 8.18 – формулювання управлінської проблеми SWOT- аналіз

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- енергозбереження та ресурсозбереження;</li> <li>- доступна вартість впровадження проекту;</li> <li>- договірна ціна;</li> <li>- надійність;</li> <li>- комплексний підхід;</li> <li>- інженерні послуги;</li> <li>- дослідження та аналіз.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- низький рівень фінансування;;</li> <li>- зменшення постачальників за умови кризи;</li> <li>- швидкість виконання модернізації барабанної сушарки;</li> <li>- фінансова звітність по модернізації, виготовленні та установки барабанної сушарки</li> </ul>
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> <li>- вихід на закордонний ринок;</li> <li>- створення нових тенденцій;</li> <li>- залучення молодих вчених;</li> <li>- зміна ціни на робочі матеріали для модернізації барабанної сушарки.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- аварії техногенного походження;</li> <li>- економічна криза;</li> <li>- розвиток науково-технічного прогресу.</li> </ul>

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 8.19) [32].

Таблиця 8.19 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Товар з мінімальними вратами	70%	Максимум рік
Підписання довгострокових контрактів	89%	Максимум рік

Після аналізу обираємо альтернативу підписання довгострокових контрактів.

#### 8.4 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 8.20).

Таблиця 8.20 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
--	---	---	--------------------------------------	--------------------------

Продовження табл. 8.20

Приватні промислові підприємства фармацевтичний та харчовий галузях	80%	75%	Конкуренція не велика	Висока
Державні промислові підприємства фармацевтичний та харчовий галузях	45%	50%	Висока конкуренція	Середня

Для здобуття репутації компанії потрібно починати з приватних компаній, а в подальшому розповсюджувати на державні підприємства. Вибрано стратегію концентрованого маркетингу для охоплення ринку.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 8.21).

Таблиця 8.21 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
Підписання догосточових контрактів	Концентрований маркетинг	Супровід систем, їх технічне обслуговування	Стратегія спеціалізації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 8.22).

Таблиця 8.22 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
На території України проект є першопроходьцем, для малих підприємств	Пошук нових клієнтів, які не зацикленні на відомому бренді	Копіювання таких послуг на ринку такі як аудит підприємства	Стратегія заняття конкурентної ніші

Після цього визначаємо стратегії позиціонування

Таблиця 8.23 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
Надання послуг на високому рівні	Стратегія спеціалізації	Стратегія зняття конкурентної ніші	Конкуренто-спроможні та інноваційні послуги за доступною ціною

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника та до продукту (див. таблиця 8.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 8.21) та стратегії конкурентної поведінки (таблиця 8.22) розробляється стратегія позиціонування (таблиця 8.23). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну проект.

### 8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.24 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 8.24 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує послуга	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Потреба в нових технологій в фармацевтичній та харчовій галузях	Швидкість та надійність, економія на ЗП	Швидкість, доступна ціна, надійність

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 8.25). Орієнтовний перелік можливих характеристик товару наведено у методиці [26].

До основних техніко-економічних характеристик товару відносяться:

- Економічні – вартість обслуговування, витратних матеріалів, ремонту, знижки;
- Надійності – безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність;
- Технологічні – оптимізація витрат матеріалів, праці, коштів;
- Естетичні – оцінюють зовнішній вигляд товару;
- Транспортабельності – пристосованість продукції до транспортування, операцій перевезення;
- Екологічності – характеризують рівень негативного впливу на довкілля;
- Безпеки – безпечності та нешкідливості споживання товару.

Формулюємо три рівні товару: товар за задумом, товар у реальному виконанні та товар із підкріпленням. Далі розглядаємо техніко-економічні характеристики кожного рівню товару, отримані дані вносимо до таблиці 8.25.

Таблиця 8.25 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Послуга за задумом	Надання високо кваліфікованого аутсорсингу; зменшення витрат матеріальних і людських ресурсів на висушування матеріалів застарілими технологіями та способами, завдяки модернізації барабанної сушарки досягається підвищення продуктивності підприємств виробництва морської солі		
II. Послуга у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор

Продовження табл. 8.25

	1. Економічності: зниження затрат на ремонт обладнання;	-/+	+ / + / + / + / +
	2. Призначення: хімічні та харчові виробництва;		
	3. Технологічні: оптимізації витрат праці, коштів.		
	4. Безпека: відповідність нормативам;		
	5. Екологічність: відповідність нормативам.		
	Якість: нормативи, міжнародні та вітчизняні стандарти ДСТУ, ISO, DIN та інші.		
	Документи виконані з логотипом підприємства.		
	Марка: Кейсо		
III. Послуга із підкріпленням	До продажу: представлення клієнту проекту		
	Після продажу: гарантійні консультації, супровід, обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Використанням власних запатентованих розробок, штампом.			

Захист буде організовано за рахунок захисту ідеї товару у патентному відомстві.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (таблиця 8.21).

Таблиця 8.21 – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари – замітники	Рівень цін на товари – аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
22000 грн	26500 грн.	345 тис. грн/міс	Верхня: 27000 грн Нижня: 25000 грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 8. 22).

Таблиця 8.22 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Замовлення проекту	Швидкість виконання, гарантія, надійність, доставка	Однорівнева	Власні сили

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що ми будемо проводити збут власними силами.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 8.23).



Таблиця 8.23 - Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки і цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Орієнтоване на швидке та ефективне спілкування	Інтернет, виставки модернізації барабанних сушарок та їх виготовлення, друкована продукція	Продаж якісних модернізованих барабанних сушарок; Чим довше партнерство, тим лояльніші ціни;	Демонстрація переваг барабанної сушарки залежно від напрямку зацікавленості	Офіційний стиль. Наочна демонстрація даних, які показують збільшення ефективності висушування матеріалу

Результатом пункту 8.5 створено ринкову програму, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

### 8.6 Висновки до розділу

Відповідно до проведеного аналізу поява даного проекту є актуальна так як на ринку мала кількість компаній яка надає такий спектр послуг. Він має перспективи росту на ринку послуг.

Запатентована модернізація і розроблена конструкція барабанної сушарки, що буде впроваджена у даному стартап-проекті.

- На даний момент попит на барабанні сушарки значний, адже за допомогою барабанних сушарок висушується більша частина матеріалів ( морська сіль, пісок, кокс)
- Перспективно буде розвивати підприємства з барабанними сушарками та лініями висушування матеріалів які користуються попитом в той чи інший час;
- Модернізація барабанних сушарок є прибутковою справою та економічно вигідною;
- Подальша імплементація стартап-проекту є доцільною, адже за рахунок цього можна досягти росту виробництва ліній сушіння матеріалів .

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

У магістерській дисертації за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки на тему ” Розроблення центрифуги та барабанної сушарки для модернізації установки виробництва морської солі” було модернізовано конструкцію барабанної сушарки шляхом встановлення допоміжної труби в барабан, для подачі допоміжного сушильного агенту, що призвело до збільшення ефективності висушування матеріалу, модернізація захищена деклараційним патентом України на корисну модель.

Описано технологічну схему, проведено вибір типів апаратів, описано їх конструкцію, виконано порівняння з аналогами та патентну проробку. Виконано параметричні розрахунки, та розрахунки основних вузлів і елементів на міцність.

Виконано параметричний розрахунок центрифуги та обрано конструкцію, що забезпечує найбільшу продуктивність при найменших капітальних та експлуатаційних витратах. Виконано параметричний розрахунок барабанної сушарки та розрахунки основних вузлів і елементів на міцність. Перевірили конструкції центрифуги та барабанної сушарки, що відповідають вимогам безпеки праці та промислової санітарії.

Розроблено стартап-проект впровадження запропонованої модернізації.

Розроблено систему автоматичного регулювання параметрів блоку виробництва морської солі.

Розроблено технологічний процес виготовлення упорного ролика, спроектовано пристрій для свердління отворів.

Виконано 8 креслень та специфікації до них. За результатами дисертаційної роботи отримано 1 деклараційний патент України на корисну модель, результати оприлюднено на 3 міжнародних конференціях студентів та опубліковано статтю у фаховому журналі, в якому з наукової точки зору було доведено доцільність модернізації методом двух- та трьохвимірною проектування в програмі SolidWorks та КОМПАС-3D, а також математичного обґрунтування.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

## Выводы

В магистерской диссертации по образовательно-профессиональной программе магистерской подготовки на тему "Разработка центрифуги и барабанной сушилки для модернизации установки производства морской соли" была модернизирована конструкция барабанной сушилки, путем установки вспомогательной трубы в барабан, для подачи вспомогательного сушильного агента, что привело к увеличению эффективности сушки материала, модернизация защищена декларационным патентом Украины на полезную модель..

Описано технологическую схему, проведен выбор типов аппаратов, описаны их конструкции, выполнено сравнение с аналогами и патентную проработку. Выполнено параметрические расчеты, и расчеты основных узлов и элементов на прочность.

Выполнено параметрический расчет центрифуги и выбрано конструкцию, обеспечивающую наиболее продуктивным при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах. Выполнено параметрический расчет барабанной сушилки и расчеты основных узлов и элементов на прочность. Проверено конструкции центрифуги и барабанной сушилки, отвечающие требованиям безопасности труда и промышленной санитарии.

Разработан стартап-проект внедрения предложенной модернизации.

Разработана система автоматического регулирования параметров блока производства морской соли.

Разработан технологический процесс изготовления упорного ролика, спроектировано устройство для сверления отверстий.

Выполнено 8 чертежей и спецификации к ним. По результатам диссертационной работы получено 1 декларационный патент Украины на полезную модель, результаты обнародованы на 3 международных конференциях студентов и опубликована статья в профессиональном журнале, в котором с научной точки зрения было доказано целесообразность модернизации методом двух- и трехмерного проектирования в программе SolidWorks и КОМПАС-3D , а также математического обоснования.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

## Conclusions

In the master's thesis on educational and professional program of master's training on the topic " Development of centrifuge and drum dryer for modernization of sea salt production plant ", the design of the drum dryer was modernized by installing an auxiliary pipe in the drum, to supply auxiliary drying agent, increasing the material drying, the modernization is protected by a declarative patent of Ukraine for utility model.

The technological scheme is described, the types of devices are selected, their construction is described, comparisons with analogues and patent examination are made. Parametric calculations were performed, as well as calculations of the basic nodes and elements for strength.

Parametric calculation of the centrifuge was performed and the design was selected to provide the highest productivity at the lowest capital and operating costs. Parametric calculation of the drum dryer and calculations of the basic components and strengths were carried out. Checked the design of the centrifuge and drum dryer that meet the requirements of occupational safety and industrial sanitation.

The startup project of implementation of the proposed modernization has been developed.

The system of automatic regulation of parameters of the production unit of sea salt has been developed.

The technological process of manufacturing of the thrust roller is developed, the device for drilling of openings is designed.

8 drawings and two posters of A1 format were made. According to the results of the dissertation, one declarative patent of Ukraine for utility model was obtained, the results were published at three international student conferences and an article was published in a professional journal.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110

## Перелік посилань

1. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Морська\\_сіль](https://uk.wikipedia.org/wiki/Морська_сіль) від 01.11.2019.
2. Дытнерский Ю.И.. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / Дытнерский Ю.И.. В 2-х частях. – М.: Химия, 1995.
3. ГОСТ 5632 – 72 .
4. ГОСТ 380-94.
5. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1991 – 496 с.
6. Патент № CN 109772600 А, Китай, В04В 5/00(2006.01), В04В 7/00(2006.01), В04В 11/02(2006.01), заявлено 21.02.2019, опубл. 21.05.2019.
7. Патент № CN 209589638 U, Китай, G01N 1/38(2006.01), В04В 5/12(2006.01), В04В 7/02(2006.01), В04В 9/02(2006.01), В04В 15/00(2006.01) заявлено 21.02.2019, опубл. 11.05.2019.
8. Патент № CN 110170385 А, Китай, В04В 7/00(2006.01), В04В 7/08(2006.01), В04В 1/00(2006.01), заявлено 26.06.2019, опубл. 27.08.2019.
9. Патент № CN 110064529 А, Китай, В04В 5/04(2006.01), В04В 7/00(2006.01), заявлено 27.04.2019, опубл. 30.07.2019.
10. Патент № CN 110152894 А, Китай, В04В 5/00(2006.01), В04В 9/08(2006.01), В04В 7/00(2006.01), заявлено 28.06.2019, опубл. 23.08.2019.
11. Патент № RU 191823 U1, Росія, F26В 11/00(2019.05), заявлено 20.05.2019, опубл. 23.08.2019.
12. Патент № CN 110108105 А, Китай, F26В 11/04(2006.01), F26В 25/16(2006.01), F26В 21/00 (2006.01), заявлено 19.06.2019, опубл. 09.08.2019.
13. Патент № CN 209623265 А, Китай, F26В 11/04(2006.01), F26В 21/00(2006.01), F26В 25/16(2006.01), F26В 25/00 (2006.01), заявлено 07.03.2019, опубл. 12.11.2019.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

14. Патент № KR 10-2019071, Південа Корея, B09B 3/00(2006.01), F26B 11/04(2006.01), F26B 25/00(2006.01), F26B 3/28 (2006.01), F26B 3/04 (2006.01), F26B 23/06 (2006.01), B01F 9/02 (2006.01), заявлено 02.09.2019, опубл. 06.09.2019.
15. Патент № CN 109702836 A, Китай, B27J 1/00(2006.01), B27H 1/00(2006.01), заявлено 12.03.2019, опубл. 03.05.2019.
16. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов аппаратов химической технологии. –Л.: Химия, 1981-549с.
17. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1991 – 496 с.
18. Чернобыльский И.И., та ін. Машины і апарати хімічних виробництв. – Москва: Машиностроение, 1974 – 454 с.
19. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. ГОСТ 14249-89.
20. Мельников О.В., Джигирей В.С., Основы охорони праці. –Львів :”Афіша”, 2001-380с.
21. Мікульонок І.О. Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв: Навч. посібник. – К.: ІЗМН, 1998.–256с.
22. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» для студентів, що навчаються за напрямом підготовки 6.050503 Машинобудування : [Електронний ресурс]: / НТУУ “КПІ”; уклад. Степанюк А.Р.- Київ: НТУУ “КПІ”, 2019. – 68 с.
23. Марчевський В.М. Конструкторська документація курсових і дипломних проектів : Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. – К. : Норіта-плюс, 2006. - 280с. : іл. ISBN 966-2975-04-7.
24. Маркетинг стартап-проектів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>

25.Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

26.Standard Management Systems QUALITY MANAGEMENT Textbook for students and post-graduate students on specialty 131 "Applied mechanics"/ S. Fomichov, A. Banin, I. Skachkov, V. Lysak, O. Gaievskiy, N. Yudina, Kiev: KIM, 2018 – P. 266

27.Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.

28.Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

29.Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		113



виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

- 30.Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>
- 31.Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.
- 32.Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа : [http://futureslog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futureslog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).
- 33.Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа : [http://futureslog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futureslog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).
- 34.Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступу : <http://futureslog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114

**Додаток А Технологія виготовлення упорного ролика барабанної сушарки**

**Додаток Б Схема автоматизації виробництва морської солі**

**Додаток В Програма параметричного розрахунку центрифуги**

**Додаток Г Програма розрахунку ротора центрифуги**

**Додаток Д Програма параметричного розрахунку барабанної сушарки**

**Додаток Е Програма корпусу барабана**

**Додаток Є Програма розрахунку бандажа, опорних та упорних роликів барабанної сушарки**

**Додаток Ж Програма розрахунку двигуна барабанної сушарки**

**Додаток З Документація патентного дослідження**

**Додаток И Патенти, які використані в патентному дослідженні**

**Додаток І Список наукових праць**

					ЛН81мп.066613.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		115